



**HAL**  
open science

# Dynamiques urbaines des villes des Hautes Plaines algériennes et du Nord-Ouest tunisien et exploitation des images satellitaires Spot

Didier Desponds

► **To cite this version:**

Didier Desponds. Dynamiques urbaines des villes des Hautes Plaines algériennes et du Nord-Ouest tunisien et exploitation des images satellitaires Spot. [Rapport de recherche] In Chanson-Jabeur C. et Souiah S.-A. (Dir.) (2009): “ Bourgs et villes intermédiaires des Hautes Plaines algériennes et du Nord Ouest tunisien : croissance ou déclin? Étude comparée ”. 2009, 44 p. hal-01779386

**HAL Id: hal-01779386**

**<https://hal.science/hal-01779386>**

Submitted on 30 Apr 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**PROGRAMME FSP**

**ALGERIE – TUNISIE**

**VILLES DE L'INTERIEUR**

**SEDET**

**Dynamiques urbaines des villes des Hautes Plaines algériennes et du Nord-Ouest tunisien et exploitation des images satellitaires Spot.**

**Didier DESPONDS  
Maître de conférences en Géographie  
Laboratoire MRTE  
Université de Cergy-Pontoise**

## - 1) Intérêt du recours à l'imagerie satellitaire

L'étude conduite sur des villes de l'intérieur algériennes et tunisiennes, s'inscrit dans une approche dynamique. Il s'agit de saisir et de comprendre les transformations intervenues en l'espace d'une quinzaine d'années, en termes de consommation de l'espace ou de transformation des formes urbaines. Portant sur plusieurs villes de taille différente, mais disposant pour certaines d'entre elles, de caractéristiques voisines dans le domaine des fonctions urbaines (chef-lieu de Wilaya pour Sétif, Borj Bu Arrerij, El Eulma, du côté algérien ; Beja, El Kef, Jendouba, du côté tunisien), il s'agissait d'aborder ce projet dans une perspective comparative : similitude et dissemblance. Ces villes que l'on qualifiera d'intermédiaires, dans le sens défini par S.-A. Souiah<sup>1</sup>, « occupent des positions de relais, introduisant ainsi les micro-polarisations nécessaires pour organiser et servir des territoires animés par les grandes métropoles ». Les mutations enregistrées par ces villes ont des traductions spatiales qu'il est possible de saisir par l'analyse de cartes topographiques, mais aussi, de façon aisément reproductible par l'imagerie satellitaire. Plusieurs arguments ont plaidé pour le recours à ce dernier outil<sup>2</sup>.

L'indépendance par rapport à l'accès à l'information. Les cartes topographiques peuvent de révéler des outils sensibles, nécessitant des accords quant à leur obtention. Les informations provenant des satellites de ressources du type Spot s'affranchissent de ces réglementations même dans le cas de la THR (très haute résolution). Il devient en conséquence possible de disposer de données récentes sur chaque portion du territoire, à la condition que les conditions météorologiques le permettent<sup>3</sup>. Considérer que les territoires sont dorénavant « transparents » par rapport à ce type d'image et qu'en conséquence un contrôle renforcé sur la diffusion des données spatialisées n'est plus nécessaire, s'est trouvé renforcé avec la banalisation de leur mise en ligne réalisée par Google Earth (cf. site : <http://earth.google.fr/>).

La profondeur temporelle dorénavant permise. Les images d'archive accessibles auprès des diffuseurs tels Spot Images (cf. site : <http://www.spotimage.fr/>) permettent de remonter dans le temps avec des images de qualité identique, donc directement comparables. Le lancement du premier Spot remonte à février 1986, celui de Spot 5 ayant fortement amélioré la qualité des images exploitables, à mai 2002. La transformation des espaces urbanisés constitue un objet que l'outil satellitaire permet d'appréhender.

La précision des informations. Les premières informations transmises par des satellites du type de Landsat (premier envoi en juillet 1972) dont les capteurs MSS (Multispectral Scanner System) ne permettaient avec une résolution spatiale<sup>4</sup> de 80 m, que de saisir la tache urbaine et son évolution. Les satellites de la génération Spot 1 offrirent une amélioration sensible. Les configurations des capteurs, si l'on excepte l'ajout du canal végétation avec Spot 4, sont restées similaires avant l'apparition de Spot 5. Avec une résolution de 10 m en mode

---

<sup>1</sup> SOUIAH S.-A. (sous la direction de) : *Villes intermédiaires dans le monde arabe*, 2007. Op. cité p. 5.

<sup>2</sup> Les arguments justifiant l'utilisation l'imagerie satellitaire dans le cadre des études urbaines se retrouvent développés chez ROBIN M. (1995), DUREAU F. et WEBER C. (1995) et GIRARD M.-C. et GIRARD C.-M. (1999).

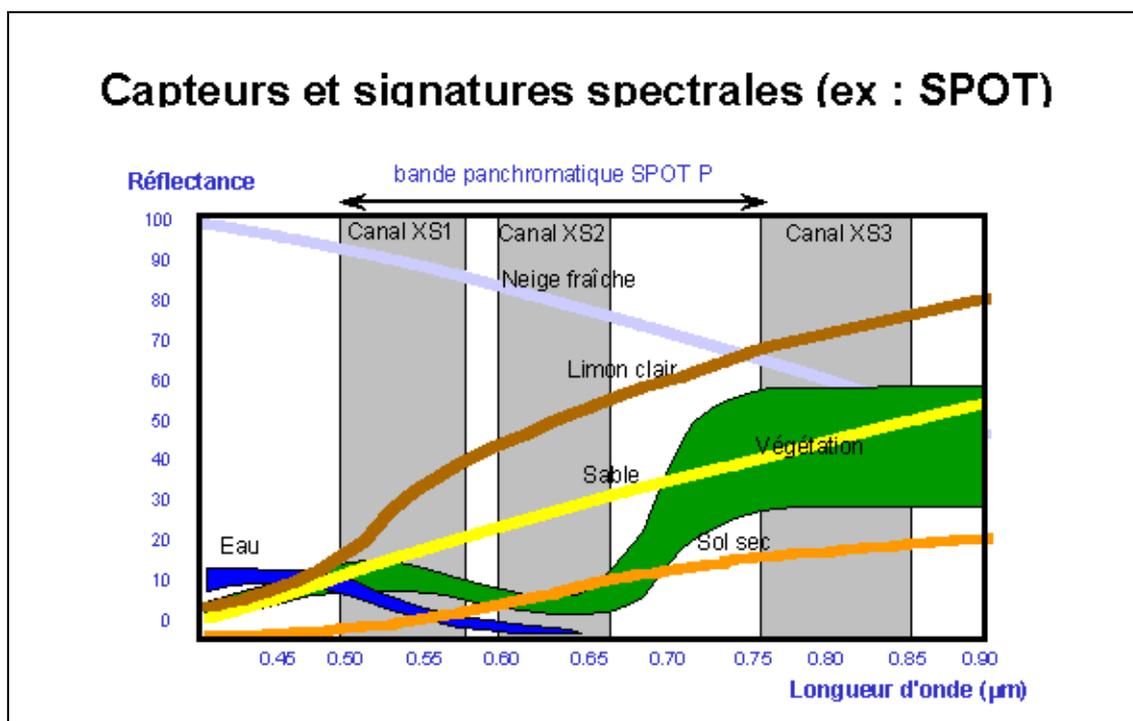
<sup>3</sup> Lors de la sélection initiale des images, il est nécessaire d'opter pour des scènes non perturbées par la couverture nuageuse. Ce problème est moins crucial pour des études portant sur le Maghreb et d'une manière plus générale, dans le cas des sujets ne nécessitant pas de disposer d'une image correspondant à une date précise, comme cela peut être le cas dans le cas d'une étude portant sur une catastrophe dont on cherche à évaluer l'impact en temps réel.

<sup>4</sup> La résolution spatiale d'un satellite correspond au plus petit élément de surface que ses capteurs sont capables de discerner. Compte tenu de l'altitude de circulation des satellites de types Spot (environ 800 kms), cela conduit à une résolution de 10 X 10 m au sol, en mode panchromatique pour un satellite de la génération Spot 1. Le **Tableau n°1**, précise la résolution des images acquises dans le cadre de ce projet.

panchromatique et 20 m en mode multispectral, ces satellites ouvraient la voie à des analyses portant sur la morphologie urbaine. Les qualités des capteurs de Spot 5 (résolution spatiale de 5 m en panchromatique avec possibilité de demander des traitements dits « supermode » permettant d'atteindre une résolution de 2,5 m et résolution de 10 m en mode multispectral<sup>5</sup>, identique au mode panchromatique de la génération précédente<sup>6</sup>).

L'intégration des résultats des traitements dans un SIG. Les résultats provenant de l'exploitation des images satellites peuvent être croisés avec des informations complémentaires obtenues par d'autres méthodes, qu'il s'agisse de données statistiques ou d'informations qualitatives résultant d'enquête de terrain. L'imagerie satellitaire sert à éclairer les dynamiques territoriales. Elle ne dispose pas en soi des éléments explicatifs, mais permet d'objectiver les tendances générales des évolutions concernant les territoires urbains.

L'homogénéité des informations. Comme il a été signalé ci-dessus, l'outil satellitaire a connu des perfectionnements depuis le lancement de Spot 1, en particulier par l'amélioration de la résolution spatiale, mais la configuration technique des capteurs est demeurée similaire dans le domaine des champs de visibilité spectrale (le **Graphique n°1** les met en évidence avec les signatures spectrales de divers modes d'occupation du sol). Ceci permet de reproduire les mêmes traitements avec des images enregistrées à divers moments. Cette répétitivité méthodologique constitue un atout lorsqu'il s'agit de conduire une étude sur les évolutions urbaines nécessitant la mise en œuvre d'une approche diachronique. En cas de résultats donnant satisfaction, il est par conséquent envisageable de répliquer la démarche dans le futur.



**Graphique n°1** : Champs de visibilité des capteurs SPOT et signatures spectrales de quelques objets (Source : Minvielle E., Souiah S.-A. 2003).

<sup>5</sup> Autrement dit l'amélioration de la résolution spatiale s'élève d'un facteur 4 en mode panchromatique et en mode multispectral (4 pixels selon le nouveau mode contenus dans 1 pixel selon l'ancien mode) et d'un facteur 16 quand est utilisé un traitement de type « supermode » à 2,5 m de résolution spatiale.

<sup>6</sup> Le protocole mis en place pour traiter les images utilisera cette similitude des résolutions spatiales des images panchromatiques des satellites Spot de l'ancienne génération avec les images multispectrales obtenues par Spot 5, soit une résolution spatiale de 10 m.

Le coût modique d'acquisition des images. L'accès aux images satellites diffusées par la société Spot Images nécessite dans un premier temps, une sélection des images adéquates, celles correspondant à la problématique de l'étude et offrant une qualité suffisante pour une exploitation ultérieure. Dans un second temps, le projet est porté à la connaissance du CNES qui peut dans le cas où il est trouvé suffisamment intéressant et bien construit, accepter de le subventionner dans le cadre d'un contrat intitulé Médias<sup>7</sup>. Les prix qui en résultent s'en trouvent fortement réduits (de 50 à 520 €, en fonction de l'image). À défaut, une image panchromatique d'archive<sup>8</sup>, Spot 1 à Spot 4 coûte 1900 € (pour une image multispectrale à 20 m ou une panchromatique à 10 m). Dans le cas d'une image Spot 5 (multispectrale à 10 m ou panchromatique à 5 m) il faut compter 2700 €, ces prix s'élevant à 5400 € en cas de demande de traitement « super mode ». Notons enfin que les prix varient en fonction du niveau de traitement de l'image. Si les images sont intégrées dans un MNT (modèle numérique de terrain) leur coût est sensiblement plus élevé. Il est donc indispensable avant de commencer une étude avec des images satellitaires de correctement identifier les produits les plus adaptés, à la fois en termes de résolution, mais aussi de niveau de traitement. L'incidence sur le coût global se trouve cependant réduit en cas d'obtention d'un accord du CNES pour un contrat Medias dans le cadre des protocoles Isis.

## - **2) Approche diachronique et choix des images**

La phase de sélection des images impose d'intégrer certains paramètres. D'abord, le plus évident, la localisation précise de l'espace englobant le terrain d'étude. La sélection peut s'opérer par sélection du nom des villes lorsque celles-ci figurent dans la base, ou par coordonnées de latitude et longitude. En l'absence de cartes topographiques, il est pratique dans ce cas, de recourir à Google Earth. Ensuite, parmi les images présentes dans la bibliothèque de Spot Images, doit être ciblée la période de l'étude. En l'occurrence, compte tenu de l'approche diachronique, il s'agissait de cibler deux périodes. La plus récente, devait concerner les années 2002-2003 afin d'avoir accès aux images Spot 5 ; la plus ancienne, une dizaine d'années auparavant, soit 1992. La saisonnalité qui doit impérativement être prise en compte pour des études portant sur l'agriculture ou le tissu végétal, est d'une moindre importance quand il s'agit d'études urbaines<sup>9</sup>. Les autres critères conduisant à la sélection de telle ou telle image, comme la nébulosité susceptible de masquer l'objet à étudier, n'ont pas constitué des paramètres discriminants.

Le **Tableau n°1** présente les images sélectionnées qui constituent le corpus à partir duquel l'étude a été réalisée. Le KJ correspond à une identification spatiale des scènes Spot par la société Spot Images. Ces KJ s'alignent le long de la trace<sup>10</sup> couverte par le satellite. La première scène sélectionnée fut celle de Sétif.

---

<sup>7</sup> Les images qui ont été traitées dans le cadre de cette étude, furent obtenues grâce aux procédures Isis (voir à ce propos, le site <http://www.isis-cnes.fr/>). Ceci conduisit à l'obtention du contrat Médias (Dossier ISIS n° 0603-847), puis à des avenants à ce contrat initial, des compléments étant apparus nécessaires (en particulier par les acquisitions des images de Ain Oulmene, de Borj Bu Arrerij, de El Eulma, de Beja, puis dans un second temps, du Kef et de Jendouba),

<sup>8</sup> C'est à dire ne nécessitant pas une programmation du satellite afin d'obtenir une couverture spatiale particulière, à un moment donné.

<sup>9</sup> Ce postulat de départ mérite toutefois d'être nuancé à la vue de certaines difficultés techniques rencontrées lors de l'exploitation des images. Lors des classifications supervisées, les confusions sont en effet fréquentes entre tissu urbain et sol nu non cultivé. Ceci a posé quelques difficultés d'identification de la tache urbaine qui auraient pu être limitées par une sélection différente de la période des images, intégrant le calendrier agricole.

<sup>10</sup> C qui correspond à la projection à la surface terrestre du déplacement d'un satellite à défilement. La trace, dans le cas de Spot, satellite à défilement héliosynchrone, est orientée Nord-Sud, dans la zone d'étude qui nous intéresse ici.

<b><u>VILLE ETUDIEE</u></b>	<b><u>SCENE SPOT CORRES- PONDANTE</u></b>	<b>Panchromatique ancienne Spot 2 ou Spot 1* (résolution spatiale : 10 m)</b>	<b>Panchromatique récente Spot 5 (résolution spatiale : 5 m)</b>	<b>Multispectrale récente Spot 5 (résolution spatiale : 10 m)</b>
<b><u>- 1) SETIF (Algérie)</u></b>	<b>KJ-055-277</b>	<b>12 août 1992</b>	<b>6 octobre 2002</b>	<b>6 octobre 2002</b>
<b><u>- 2) AIN OULMENE (Algérie)</u></b>	<b>KJ-055-278</b>	<b>12 août 1992*</b>	<b>6 octobre 2002</b>	<b>6 octobre 2002</b>
<b><u>3) BORJ BU ARRERIJ (Algérie)</u></b>	<b>KJ-054-278</b>	<b>3 juillet 1992</b>	<b>8 juillet 2003</b>	<b>17 décembre 2002</b>
<b><u>- 4) EL EULMA (Algérie)</u></b>	<b>KJ-056-277</b>	<b>28 août 1992*</b>	<b>11 novembre 2002</b>	<b>6 octobre 2002</b>
<b><u>5) BEJA (Tunisie)</u></b>	<b>KJ-063-276</b>	<b>31 août 1992</b>	<b>20 juillet 2002</b>	<b>20 juillet 2002</b>
<b><u>6) EL KEF (Tunisie)</u></b>	<b>KJ-063-277</b>	<b>31 août 1992</b>	<b>20 juillet 2002</b>	<b>20 juillet 2002</b>
<b><u>7) JENDOUBA (Tunisie)</u></b>	<b>KJ-063-277</b>	<b>31 août 1992</b>	<b>20 juillet 2002</b>	<b>20 juillet 2002</b>

**Tableau n°1** : Identification des images exploitées.

Chaque scène couvre une portion d'espace de 60 km sur 60 km. Or, lors du premier séjour-terrain opéré à Sétif en novembre 2006, il était apparu qu'il ne fallait pas se limiter aux informations correspondant à Sétif, mais intégrer les dynamiques spatiales d'autres villes intermédiaires, en l'occurrence, El Eulma, Borj Bu Arrerij, Ain Oulmene. Compte tenu du positionnement de la scène Spot n°1, celle de Sétif, ces villes ne figuraient pas dans la portion d'espace couverte. Il fut donc nécessaire de compléter la commande initiale, par une commande complémentaire d'images intégrant chacune de ces trois villes. Dans le cas tunisien, le même problème est apparu. L'image initiale, celle de Béja, ne permettait pas de disposer d'informations sur El Kef ou Jendouba. Suite au séjour-terrain de mai 2007, il fut donc décidé de compléter la commande. Sachant que pour chacune des villes, nous disposons d'une image panchromatique « ancienne » provenant de Spot 1 ou Spot 2 et de deux images récentes (panchromatique et multispectrale) de Spot 5, nous disposons au total, pour conduire cette étude, d'un corpus de vingt et une images.

### **- 3) Elaboration d'un protocole adapté**

Les images transmises par Spot Images ne sont pas directement exploitables. Il est donc indispensable de procéder à une préparation préalable à leur exploitation ultérieure sous le logiciel TeraVue<sup>11</sup>. L'encadré ci-dessous résume les principales opérations.

- 1) Le choix des images Spot pertinentes se justifie par la nécessité de disposer d'images présentant une visibilité satisfaisante des objets urbains à étudier. Il était par ailleurs nécessaire de conserver des pas de temps identiques, entre l'image la plus ancienne et la plus récente, soit une dizaine d'années et ce pour chacune des villes.
- 2) La réalisation d'imagettes (ou « tuiles ») résulte des limites des capacités de traitement du logiciel TeraVue. Celui-ci ne peut en effet traiter des images d'une taille supérieure à 2046 lignes sur 2046 colonnes. Au-delà, il devient nécessaire de ne conserver qu'un pixel sur deux (voire un pixel sur 5, dans le cas des images Spot 5)<sup>12</sup>. La constitution d'imagettes permet en conséquence de conserver toute l'information disponible sur une portion de l'image initiale et d'obtenir le meilleur rendu en termes de résolution spatiale. La construction des imagettes nécessite deux précautions : englober la totalité de l'objet urbain à étudier et s'agissant de l'approche diachronique, construire des images strictement identiques, donc couvrant bien la même portion d'espace. Ceci pose le problème de l'identification du point à partir duquel doit s'opérer la sélection, il doit en effet être présent sur chacune des images. Il s'agit généralement d'un carrefour routier. Par ailleurs, compte tenu des résolutions spatiales différentes des images Spot 2 (ou Spot 1) et Spot 5, le nombre de pixels inclus dans chacune des images sera différent si l'on se fixe comme objectif de couvrir le même espace. Concrètement, une imagette Spot 5 disposera de deux fois plus de lignes et de colonnes qu'une imagette Spot 2 ou Spot 1.

#### **- A) PHASE PREPARATOIRE :**

- **1) Choix des images SPOT pertinentes.**
- **2) Réalisation d'imagettes couvrant les zones urbaines à étudier (de l'ordre de 2000 / 2000 pixels pour les images SPOT 5 et de 1000 / 1000 pixels pour les images Spot 1 ou 2). Nécessité de couvrir des portions identiques de territoire.**
- **3) Test de différentes méthodes permettant de distinguer l'urbain. Problème récurrent des confusions avec le sol nu (urbain / minéral).**
- **4) Tentatives de mise en évidence de la morphologie urbaine (typologie des quartiers).**

<sup>11</sup> Ce logiciel a été au point par les Editions de la Boyère. Ses fonctionnalités sont présentées dans le *Guide d'utilisation de TeraVue*, 224 p. Valbonne. 1994. C'est à partir de ce logiciel qu'ont été produites les images présentées dans le livre de GIRARD M.-C. et GIRARD C.-M. : *Traitement des données de télédétection*, 529 p. Dunod, Paris. 1999.

<sup>12</sup> Les images Spot 2 (ou Spot 1) panchromatiques contiennent de l'ordre de 6000 lignes sur 6000 colonnes (15 000 sur 15 000 dans le cas des panchromatiques Spot 5). Dans le cas des images multispectrales Spot 2 (ou Spot 1), nous descendons à 3000 lignes sur 3000 colonnes (7 500 sur 7 500, dans le cas de Spot 5).

- 3) Après avoir suivi la procédure classique d'amélioration des contrastes des images, plusieurs méthodes vont être testées afin de mettre en évidence les zones urbanisées par rapport à celle qui ne le sont pas : filtrages, ACP (analyse en composantes principales, indices divers). Par la suite furent testées des méthodes de classifications (méthode probabiliste de Bayes) afin de valider la méthodologie. La méthode récapitulée dans l'encart **B) Phase d'exploitation**, ci-dessous correspond à la méthode ayant fourni les résultats les plus satisfaisants.
- 4) Outre la délimitation automatisée la plus précise possible de l'espace urbanisé, l'objectif consistait également à rendre automatique l'identification de types d'occupation du sol au sein de l'espace urbanisé<sup>13</sup> (habitat collectif, habitat individuel, espace végétalisé, zones d'activités, principales infrastructures de transport). Les résultats ne donnèrent pas satisfaction, ce qui contraignit à se contenter d'une approche plus banale, d'image interprétation à partir de relevés-terrain.

### **-B) PHASE D'EXPLOITATION :**

- **5) Réalisation des images filtrées, des trichromies, des fausses couleurs canaux bruts et indicés (a été retenue la composition : Bleu = ACP1 ; Vert = ACP2 dilatée ; Rouge = Indice de végétation avec coefficient 128).**
  - **6) Classification supervisée pour extraire l'urbain avec rejet élevé par méthode de Bayes, afin de limiter les confusions.**
  - **7) Calage des contours récents dans l'image ancienne afin de distinguer les évolutions de la tache urbaine.**
  - **8) Ces images présentant de nombreuses imperfections consécutives aux confusions résultant de la classification supervisée, il sera nécessaire de « nettoyer » les nombreux pixels mal classés. Pour cela sera utilisé le logiciel Illustrator, un calque correspondant au fond raster de l'image de 1992 et un autre aux contours vectorisés récents.**
- 5) Après le test de plusieurs méthodes, il est apparu qu'une composition colorée, fausses couleurs, intégrant l'axe 1 d'une analyse en composition principale, l'axe 2 d'une analyse en composantes principales ayant fait l'objet d'un filtrage par dilatation et un indice de végétation<sup>14</sup>, permettait de distinguer de façon satisfaisante le tissu urbain de l'espace rural environnant. Ces traitements ont été opérés à partir des images

<sup>13</sup> Cette approche avait donné des résultats satisfaisants dans mon propre travail de thèse : DESPONDS D. : « Stratégies résidentielles, différenciation spatiale et recomposition sociale, 820 p., thèse de géographie, université de Cergy-Pontoise, 2003. Voir le **Chapitre IV** « *Permanences ou mutations spatiales, vision depuis SPOT* », pp. 469-639, plus spécifiquement consacré à l'exploitation d'images satellitaires afin d'identifier les portions de l'espace nord francilien ayant fait l'objet de processus de périurbanisation.

<sup>14</sup> Il existe de nombreux indices de végétation, les avantages et inconvénients des principaux d'entre eux sont analysés dans le livre de GIRARD M.-C. et GIRARD C.-M. (1999). Voir p. 91. Dans le cas du logiciel TeraVue, les indices de végétation conseillés sont du type  $((XS3-XS2)*32)/(XS3+XS2)+128$ . Le paramétrage (\*32) étant apparu inadapté à la mise en évidence de la végétation, d'autres formules ont été testées, pour finalement opter pour (\*128).

multispectrales Spot 5. La qualité de ces images a paradoxalement posé des problèmes lorsqu'il s'est agi d'extraire la zone urbanisée. Ceci explique que le canal correspondant à l'axe 2 de l'analyse en composantes principales ait dû faire l'objet d'un filtrage par dilatation avant d'être intégré à la composition colorée avec un filtre vert.

- 6) La classification supervisée de Bayes est une méthode probabiliste, classant chacun des pixels de l'image en fonction de leur probabilité plus ou moins élevée d'appartenir à l'un des polygones d'apprentissage identifiés par l'opérateur. Comme l'indiquent Girard M.-C. et Girard C.-M. (1999) : « *la règle d'affectation qui s'en déduit permet de minimiser les risques d'erreur en utilisant au mieux les probabilités d'appartenance. Un pixel appartient ici à telle classe avec une probabilité plus ou moins grande, et non plus, comme dans les méthodes de classification précédentes d'une manière binaire : 'appartient' ou 'n'appartient pas'* »<sup>15</sup>. Les « polygones d'apprentissage » ont été définis en fonction des catégories suivantes : espace urbanisé, cultures, zones boisées, sol nu. Par ailleurs, la classification de Bayes permet de moduler le niveau de rejet. Les pixels classés avec le plus d'incertitude se trouvent ainsi rejetés dans une classe dite « Init ». Le « seuil de rejet » est défini par l'opérateur, entre des nombres allant de 0 à 100 %. Afin d'identifier sur l'image les portions les plus mal classées, il est possible de cartographier les probabilités conditionnelles d'un pixel d'appartenir à une classe donnée. Dans le cas des images exploitées, les « confusions » furent particulièrement nombreuses entre le sol nu et les zones urbanisées, d'où la nécessité d'élever le niveau du « seuil de rejet ».
- 7) Une fois obtenue une classification satisfaisante, les contours de la classe urbaine sont vectorisés. Ceci génère un fichier de type dxf qui peut ensuite être calé sur l'image initiale, ayant servi à produire cette classification mais aussi sur toute autre image (plus récente ou plus ancienne). Dans ce cas, il est indispensable de vérifier que les coordonnées de calage de l'image permettent une projection adéquate. À défaut, le fichier dxf viendrait se caler avec un décalage spatiale, invalidant toute possibilité d'analyse. Ceci explique, qu'à la **phase 2)** précédente, une attention particulière ait été portée à construire des imageries couvrant strictement les mêmes portions d'espace.
- 8) La démarche précédente a permis de générer le contour de la tache urbaine la plus récente et de la projeter à fin de vérification dans l'image récente ayant permis de la produire. Ensuite ce contour a pu être projeté dans l'image plus ancienne. Une évaluation de l'extension de la tache urbaine peut ainsi être effectuée sur le laps de temps d'une dizaine d'années. Afin de dégager la zone explicitement urbanisée pendant cette période, une démarche complémentaire doit être mise en place. Elle ne peut s'appuyer sur la démarche précédente puisque nous n'avons pas acquis d'images multispectrales de 1992, mais seulement des images panchromatiques. Il aurait été envisageable de mettre en place une méthode permettant d'obtenir de façon automatique le contour de la zone urbanisée de 1992, même en l'absence d'image multispectrale, par exemple en intégrant le canal panchromatique de 1992 dans l'image multispectrale de 2002 (celles-ci ayant strictement la même taille, l'opération était réalisable), puis en effectuant une opération numérique sur les canaux (par exemple une soustraction entre le panchromatique de 1992 et le XS1 de 2002). Toutefois, les résultats obtenus ont laissé apparaître de nombreuses imprécisions. Il a donc semblé préférable de se limiter à une comparaison terme à terme des images panchromatiques ancienne et récente et d'une identification des modes d'occupation du sol ayant subi des modifications.

---

<sup>15</sup> Op. cité p. 193.

### - C) PHASE D'ANALYSE :

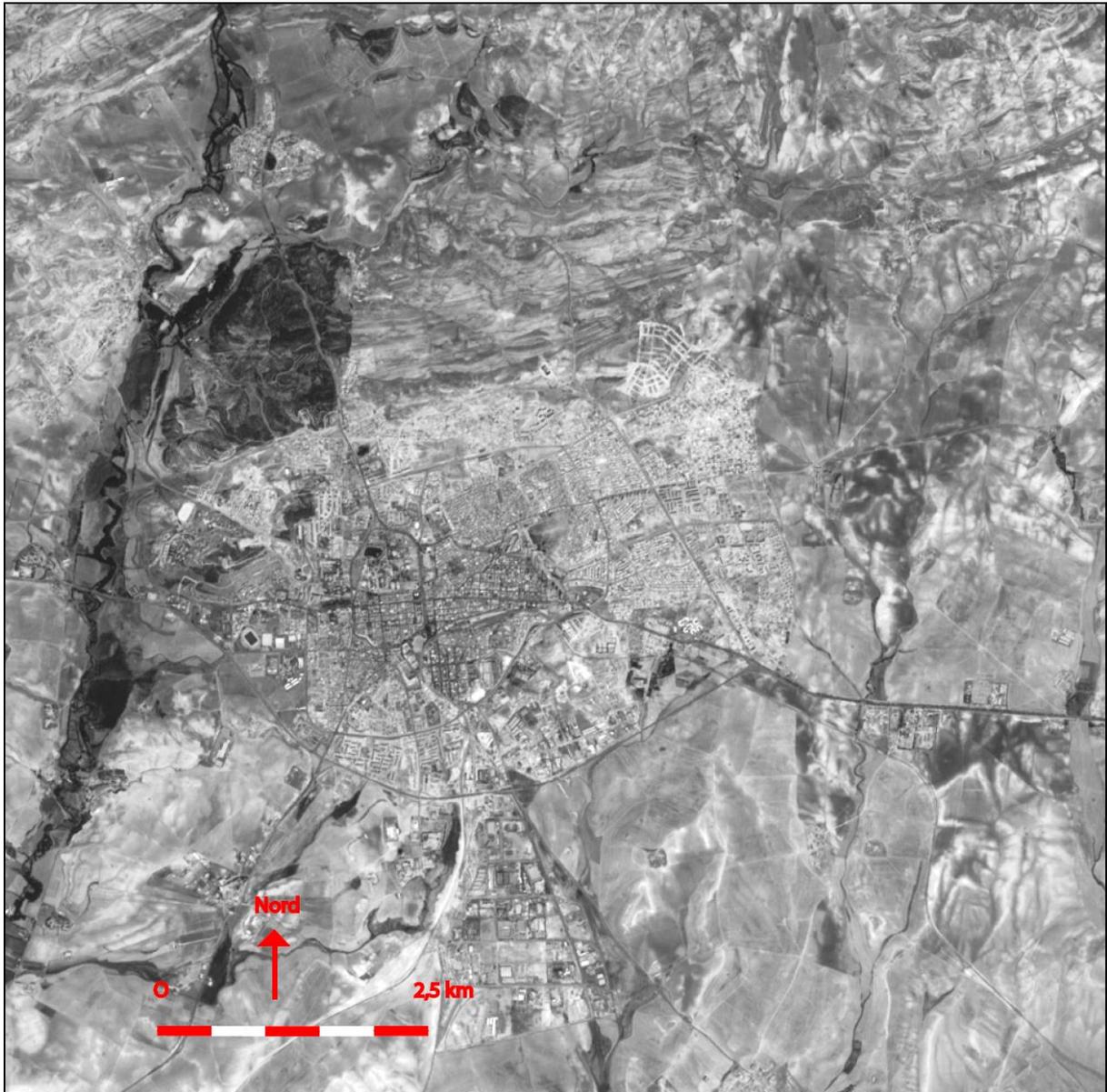
- 9) À partir de l'image offrant la meilleure visualisation de l'occupation de l'espace (**IMAGE A** : image multispectrale Spot 5) seront intégrés les contours du tissu urbain en 2002 (ou 2003). Cette image servira de référence et aussi de vérification de qualité des contours extraits.
- 10) Projection des contours de la zone urbanisée de 2002 dans l'image panchromatique filtrée mas de 1992. Ce filtre permet un rehaussement de l'image et donc une meilleure identification des détails. Cette image sera ultérieurement nommée **IMAGE B**). Dans la zone interstitielle (entre la zone urbanisée de 1992 et le contour correspondant à la zone urbanisée récente) seront caractérisés les nouveaux modes d'occupation du sol. Les informations proviendront de **l'IMAGE A**. La typologie sera à construire en intégrant les items suivants : zone industrielle ou d'activités, habitat collectif, habitat individuelle, espace agricole, équipements structurants (données ponctuelles), infrastructures de transport (données linéaires).
- 11) Le protocole exhaustif sera présenté à partir des images de Sétif.
- 12) La caractérisation des transformations sera effectuée pour chacune des villes.

- 9) À partir de cette technique, il devient possible de générer dans l'image multispectrale Spot 5, de 2002 (ou de 2003), que l'on nommera dorénavant « **IMAGE A** », le contour de l'espace urbanisé en 2002 (ou 2003). Ceci permet d'identifier clairement l'enveloppe urbaine à cette date et d'évaluer la surface couverte par l'urbanisation.
- 10) À l'intérieur même de cette zone interstitielle, peuvent être caractérisés des types d'occupation de l'espace (habitat individuel, habitat collectif, zones d'activités ou zones industrielles). De même, les infrastructures nouvelles ainsi que les nouveaux équipements structurants sont identifiables. Il est en outre possible de mettre en évidence les spécificités des mutations de l'occupation du sol, par exemple dans le cas du passage d'une terre agricole à une zone d'habitat. Pour cela, le traitement sous Illustrator de « **L'IMAGE B** » utilisera la transparence permettant de caractériser le mode actuel et de discerner le précédent. Il a été considéré lors du séminaire s'étant déroulé à Ghardaïa du 19 au 24 avril 2009, qu'il était plus pertinent de se limiter aux mêmes catégories simples dans chacun des sept territoires urbains étudiés.
- 11) Le protocole qui a été présenté précédemment va être illustré par des images correspondant à la seule ville de Sétif.
- 12) Par contre, la caractérisation des mutations de l'espace urbain appréhendée selon la méthode décrite aux points 9) et 10), faisant apparaître les contours urbains ainsi que la typologie d'occupation des sols dans la zone ayant été récemment urbanisée,

sera présentée pour chacune des villes. Un tableau récapitulatif présentera les caractéristiques principales des différents terrains étudiés.

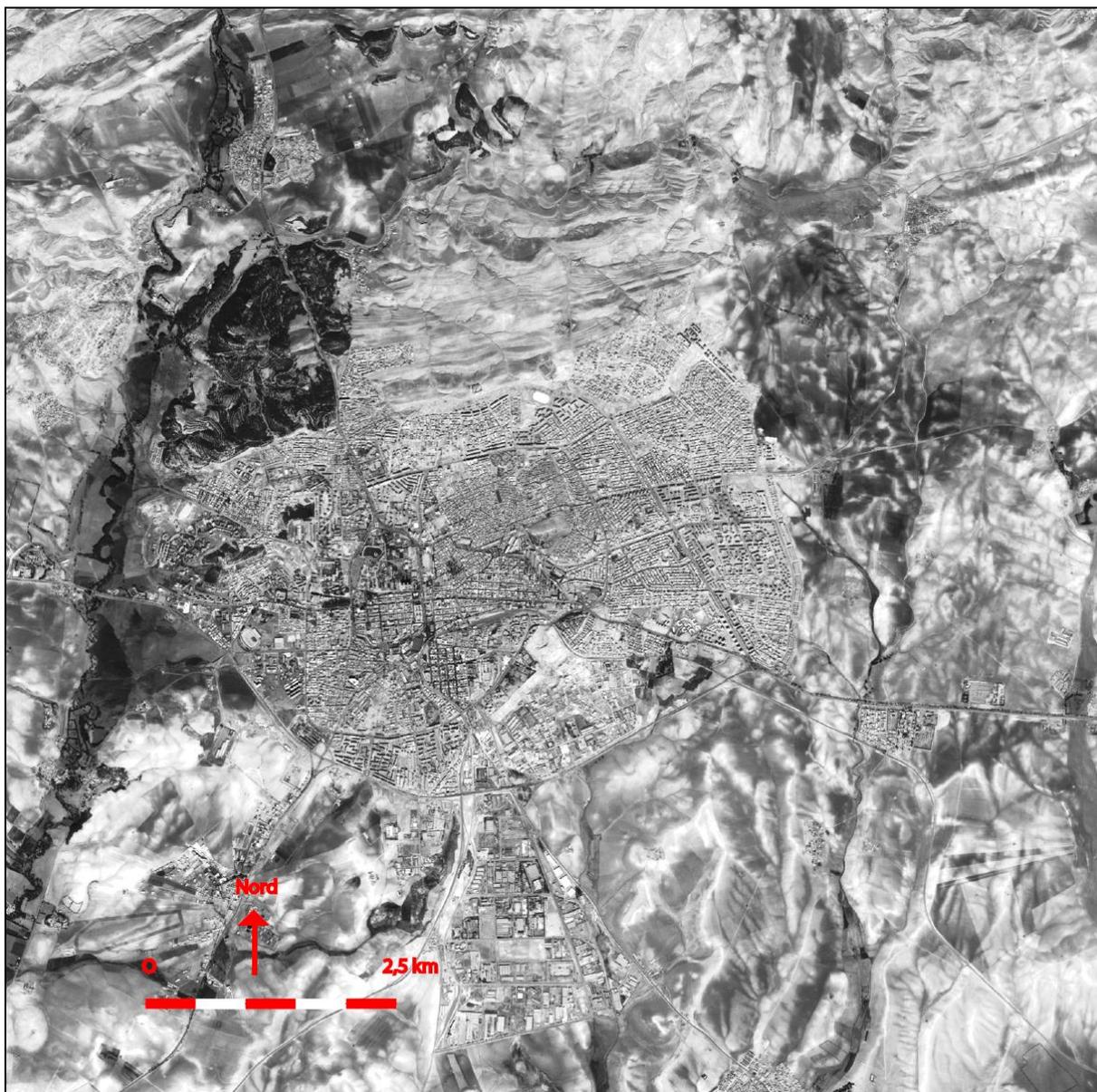
#### - **4) Application du protocole au cas de Sétif**

Les **Images n°1** et **n°2** sont des images brutes, c'est à dire des images non transformées par un filtrage ou un indiçage. Seuls les contrastes ont fait l'objet d'une amélioration. La distribution des niveaux de niveaux de gris n'occupant qu'une part des valeurs possibles entre 0 et 255<sup>16</sup>, il est généralement indispensable d'adapter la pente des niveaux de gris à la distribution spécifique correspondant à une image donnée.



**Image n°1** : Image brute, contrastes améliorés de l'image panchromatique Spot 2 du 12 août 1992 (résolution spatiale à 10 m).

<sup>16</sup> Chaque pixel fait l'objet d'un codage en 2<sup>8</sup> bits, soit 256 valeurs possibles. Le 0 correspond à une absence d'activation des capteurs, donc ce pixel apparaîtra noir dans l'image. Le 255 (soit la 256<sup>ème</sup> position possible) apparaîtra en blanc, correspondant à l'activation maximale des capteurs, autrement dit à une réflectance de 100 % (toute la lumière incidente a été réfléchiée par cette partie de la surface terrestre).

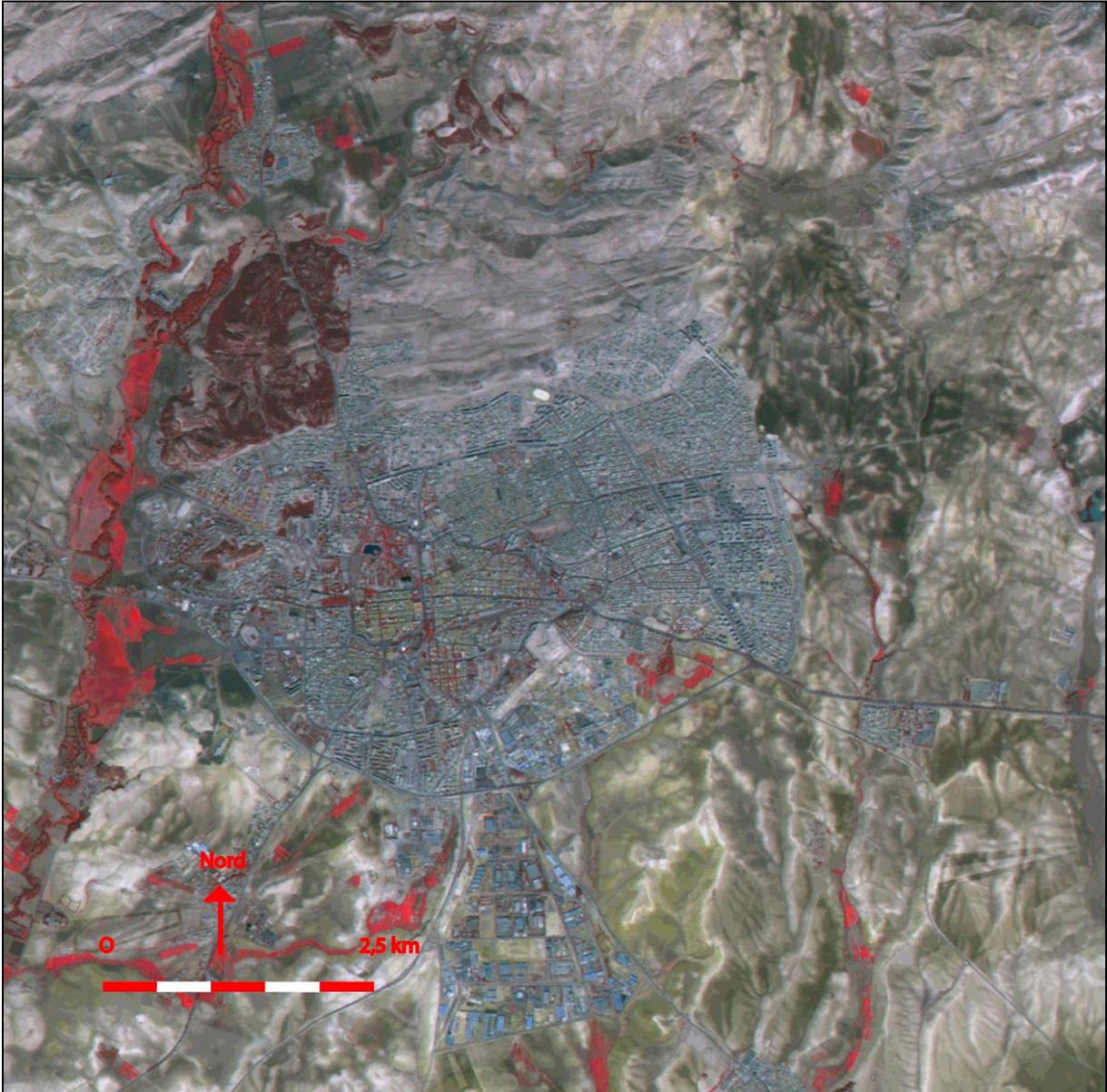


**Image n°2** : Image panchromatique, contrastes améliorés de l'image panchromatique Spot 5 du 6 octobre 2002 (résolution spatiale à 5 m).

La comparaison terme à terme des **Images n°1** et **n°2** qui couvrent strictement la même surface, laisse apparaître la meilleure résolution spatiale des capteurs Spot 5. Si la morphologie urbaine<sup>17</sup> peut être mise en évidence à partir des images panchromatiques Spot 2 (ou Spot 1), les améliorations résultant des nouveaux capteurs de Spot 5 sont nettes. L'identification des bâtiments est beaucoup plus précise, de même que le tracé des voies de circulation.

Avant même d'automatiser le traitement des images, il est possible d'identifier des portions de l'espace urbain ayant fait l'objet de transformation, entre 1992 et 2002. Une simple approche « d'image-interprétation » montre que des lotissements en cours de construction, avec une trame viaire apparaissant claire dans l'image (albédo élevé) en conséquence de l'absence de couverture végétale, ont été achevés en 2002. Ceci a contribué à l'extension spatiale de Sétif.

<sup>17</sup> Ces images permettent d'identifier l'habitat collectif, les zones denses du centre ville, les zones d'habitat plus diffus, ainsi que les différents bâtiments de la zone d'activités au Sud de Sétif.

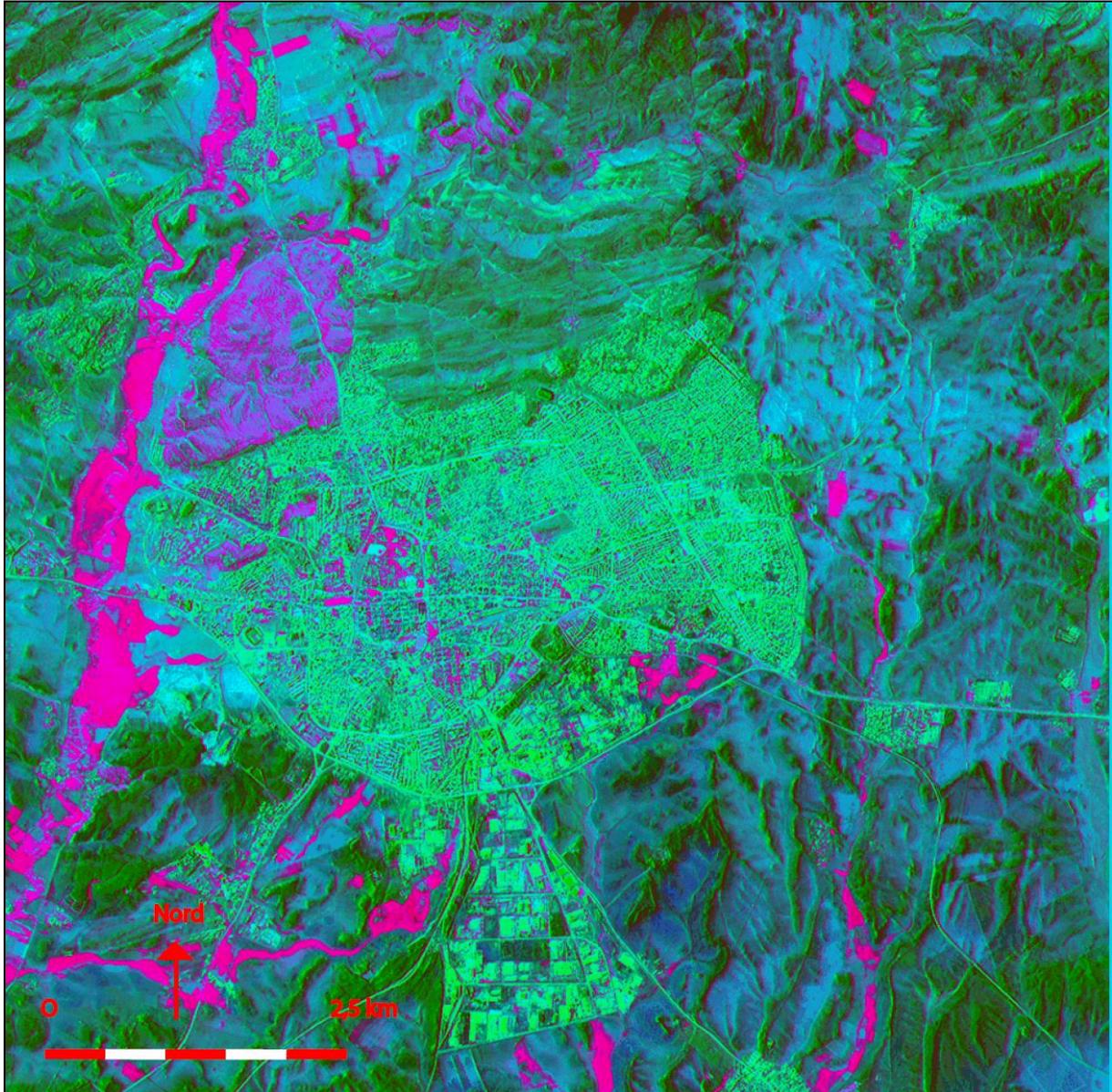


**Image n°3** : Fausses couleurs à partir des canaux bruts. Image multispectrale Spot 5 du 6 octobre 2002 (résolution à 10 m).

L'**Image n°3**, apporte des informations complémentaires par son mode multispectral. Les trois capteurs enregistrent des informations dans des longueurs d'onde complémentaires (voir le **Graphique n°1**), ne correspondant pas uniquement à la partie visible du spectre électromagnétique<sup>18</sup>. Compte tenu de la construction de cette composition coloré, sur un mode « fausses couleurs »<sup>19</sup>, la végétation active ressort en rouge vif. L'espace urbanisé se caractérise par des couleurs proches du cyan. Le choix d'une image du 6 octobre a réduit les espaces cultivés couverts par de la végétation active.

<sup>18</sup> Le canal XS1 enregistre dans des longueurs d'onde de 0,50 à 0,59  $\mu\text{m}$ , soit du vert ; le capteur XS2, de 0,61 à 0,69  $\mu\text{m}$ , soit du rouge et le capteur XS3, de 0,79 à 0,89  $\mu\text{m}$ , soit du PIR (Proche infra-rouge).

<sup>19</sup> La construction des compositions colorées est obtenue par synthèse additive des couleurs, soit le mode RVB (Rouge, vert, bleu). Sur chacun des trois canaux est appliqué un filtre coloré. La composition colorée en « fausses couleurs » résulte du codage suivant : XS1 en bleu, XS2, en vert et XS3 en rouge. Est fréquemment utilisée par ailleurs, la composition colorée dite « pseudo couleurs naturelles ». Pour cette dernière, XS1 est codé en bleu, mais XS2 l'est en rouge et XS3 en vert. Dans ce cas, la végétation active ressort en vert vif, ce qui se rapproche de la perception habituelle de la surface terrestre par l'œil humain.

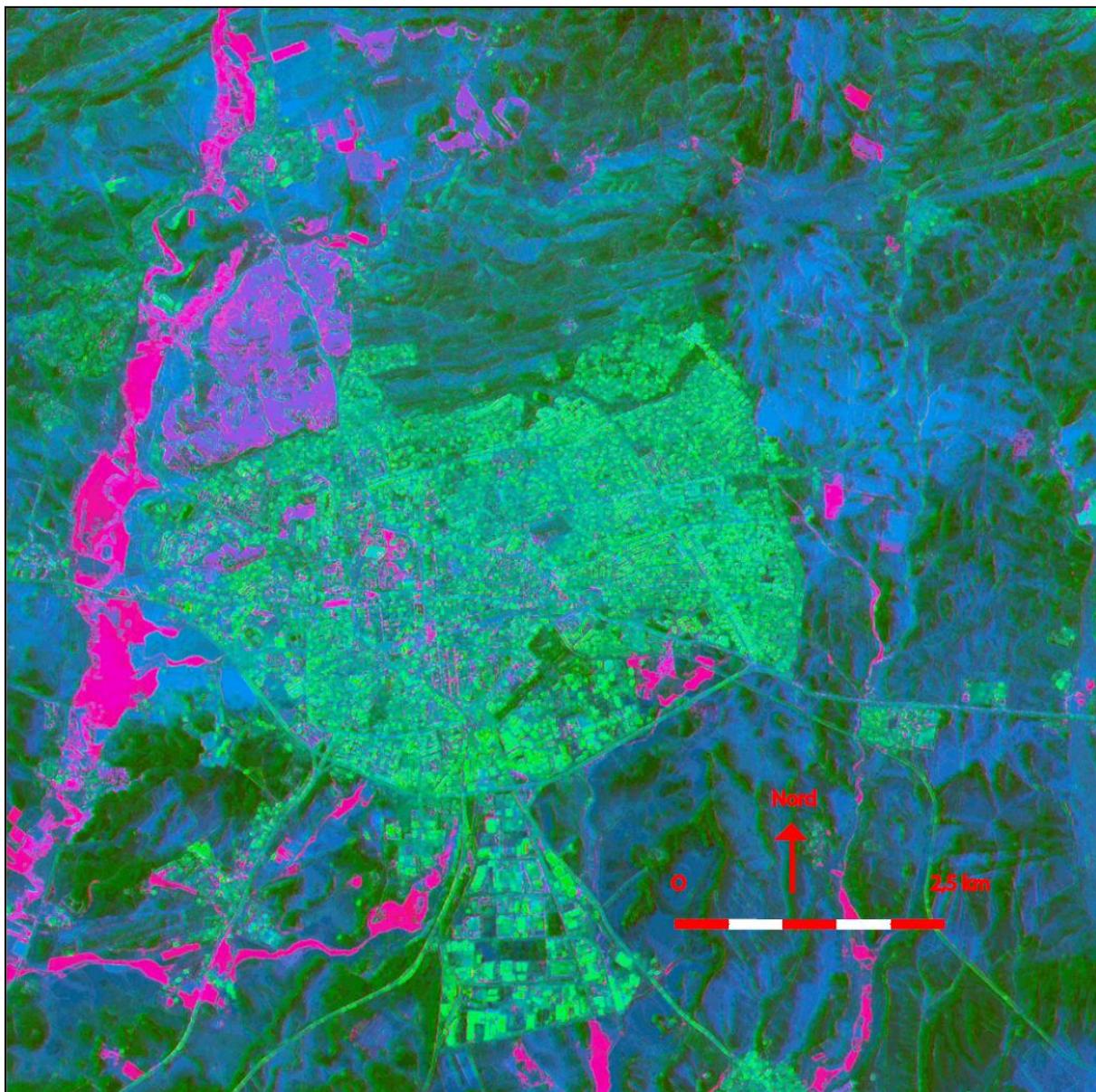


**Image n°4** : Fausses couleurs : composition colorée (Bleu : ACP1 canaux bruts ; Vert : ACP2 canaux bruts ; Rouge : Indice de végétation avec coefficient multiplicateur 128). Image Spot 5 du 6 octobre 2002 (résolution à 10 m).

À partir d'une composition colorée « fausses couleurs » ou « pseudo couleurs naturelles », il est possible de lancer une classification supervisée<sup>20</sup> par maximum de vraisemblance (méthode de Bayes). Les premiers tests réalisés à partir de l'**Image n°3** précédente ne se sont pas révélés satisfaisants en raison du nombre trop important de confusions. Pour cette raison il est apparu indispensable de davantage mettre en évidence l'espace urbanisé par rapport aux espaces environnants, minéralisés ou de sol nu. L'**Image n°4** a ainsi intégré deux canaux provenant des analyses par composantes principales et un

<sup>20</sup> Une telle classification supervisée nécessite l'identification préalable par saisie vectorisée d'un « polygone d'apprentissage ». Celui-ci correspond à une portion de l'espace présentant une certaine homogénéité en termes d'occupation du sol. Peuvent ainsi être délimitées des zones boisées, des zones de cultures, des zones d'habitat urbain dense, des zones humides (lacs, cours d'eau), etc. Afin de rendre efficace la classification ultérieure, ces polygones doivent minimiser les pixels hétérodoxes (ne correspondant pas à l'objet décrit). Une telle opération de saisie active des polygones suppose une connaissance de l'espace étudié afin d'éviter les erreurs d'interprétation.

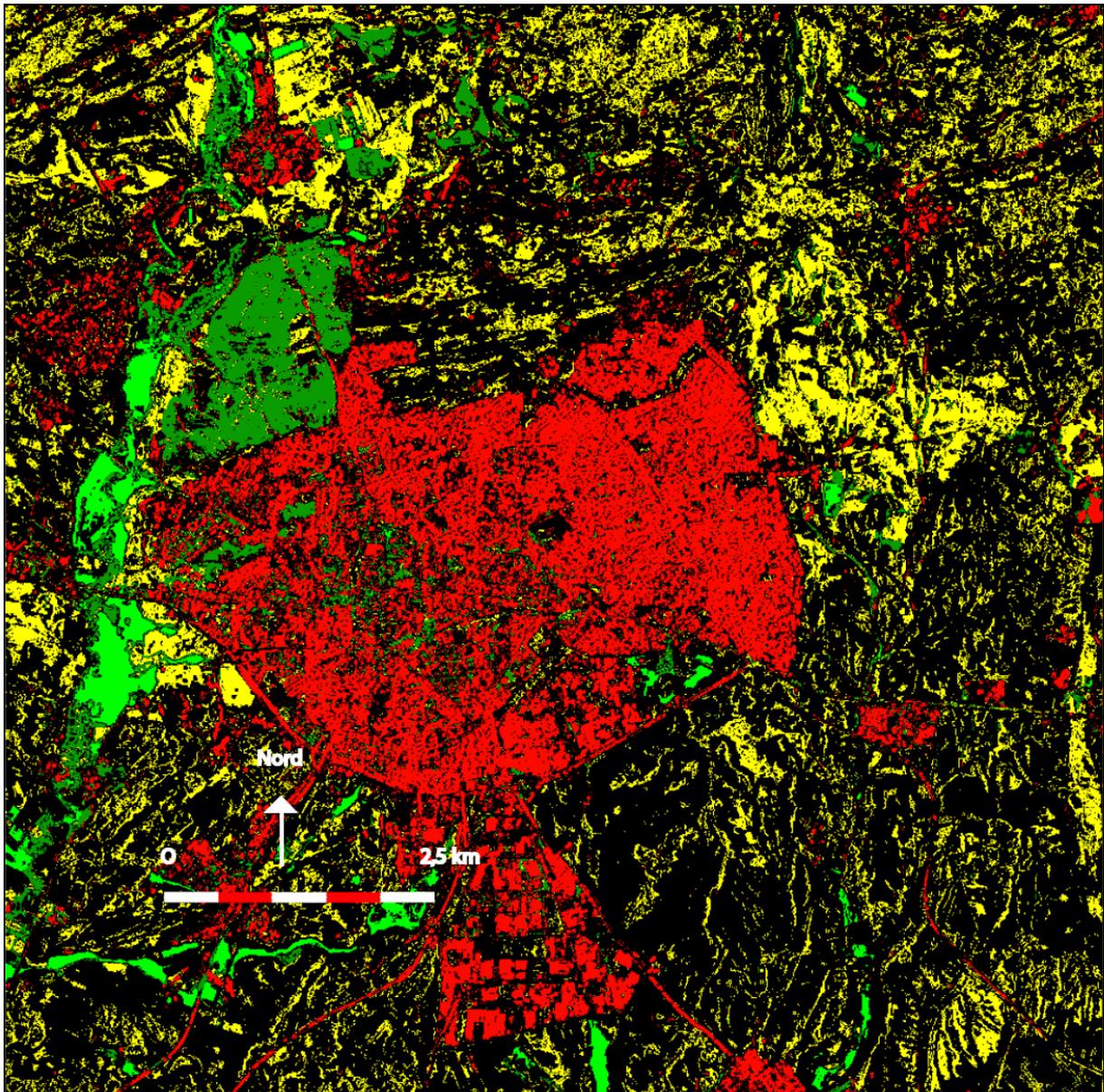
canal résultant d'un indice de végétation fortement accentué par rapport aux préconisations habituelles sous TeraVue. Le tissu urbain est ainsi ressorti plus nettement (en vert vif sur l'image) et des zones végétalisées se distinguent au cœur même de Sétif. Toutefois, la classification supervisée réalisée à partir de cette image a fait apparaître un espace urbain très morcelé. Sachant qu'il s'agissait d'obtenir l'enveloppe urbanisée de la ville afin de mettre en évidence les évolutions de la tache urbaine, ceci a conduit à modifier le traitement.



**Image n°5** : Fausses couleurs : composition colorée (Bleu : ACP1 canaux bruts ; Vert : filtre dilatation sur ACP2 ; Rouge : Indice de végétation avec coefficient multiplicateur 128). Image multispectrale Spot 5 du 6 octobre 2002 (résolution à 10 m).

L'**Image n°5** reprend la même construction que l'**Image n°4**, à une différence près. Le canal représenté en vert dans la composition colorée « fausses couleurs », résultant de l'axe 2 de l'analyse en composantes principales, a fait l'objet d'un filtrage spécifique. Il s'agit de l'application d'un filtre dilatant, autrement dit étalant les pixels de ce canal. Il peut paraître surprenant d'appliquer une telle méthode, en contradiction avec les avantages de l'amélioration de la résolution spatiale résultant de Spot 5, mais ne doit pas être occulté que

l'objectif poursuivi ici n'est pas tant d'analyser l'espace intra-urbain dans sa complexité que de dégager l'enveloppe urbaine. La classification supervisée appliquée à partir de l'**Image n°5** a donné sur ce point des résultats satisfaisants.



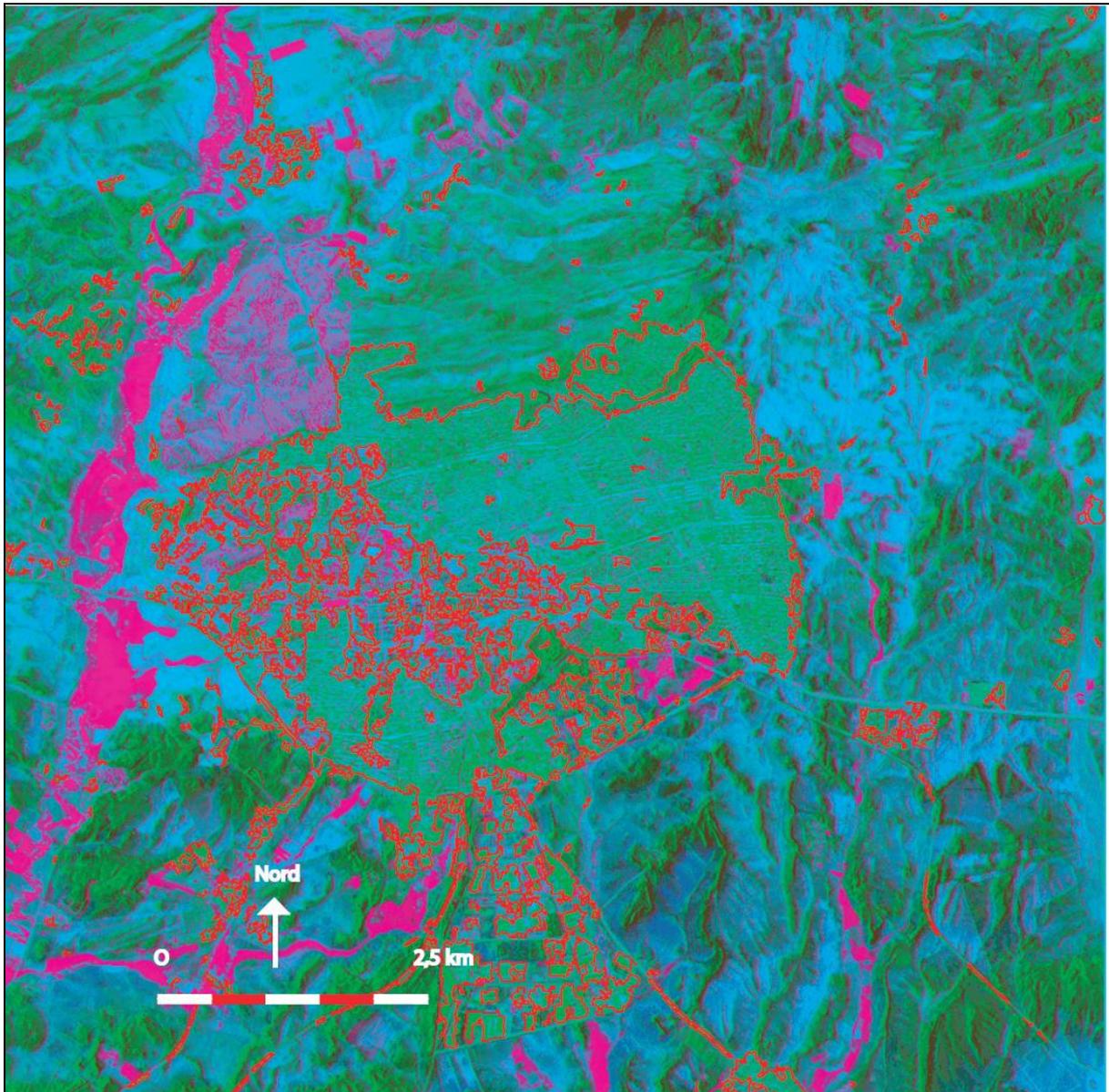
**Image n°6** : Classification supervisée, méthode de Bayes, avec rejet à 10 %, à partir de l'image fausses couleurs multispectrale du 6 octobre 2002 (composition colorée ; Bleu : ACP1 canaux bruts ; Vert : filtre dilatation sur ACP2 canaux bruts ; Rouge : Indice de végétation avec coefficient multiplicateur 128). Image Spot 5 (résolution à 10 m).

**Légende de l'Image n°6**

				
- Zone urbaine	- Zone cultivée	- Bois	- Sol nu	- Rejet

L'**Image n°6** permet de distinguer la zone urbanisée (zone centrale dense, extensions récentes sous forme de lotissements, mais aussi des zones d'habitat informel). Le contour

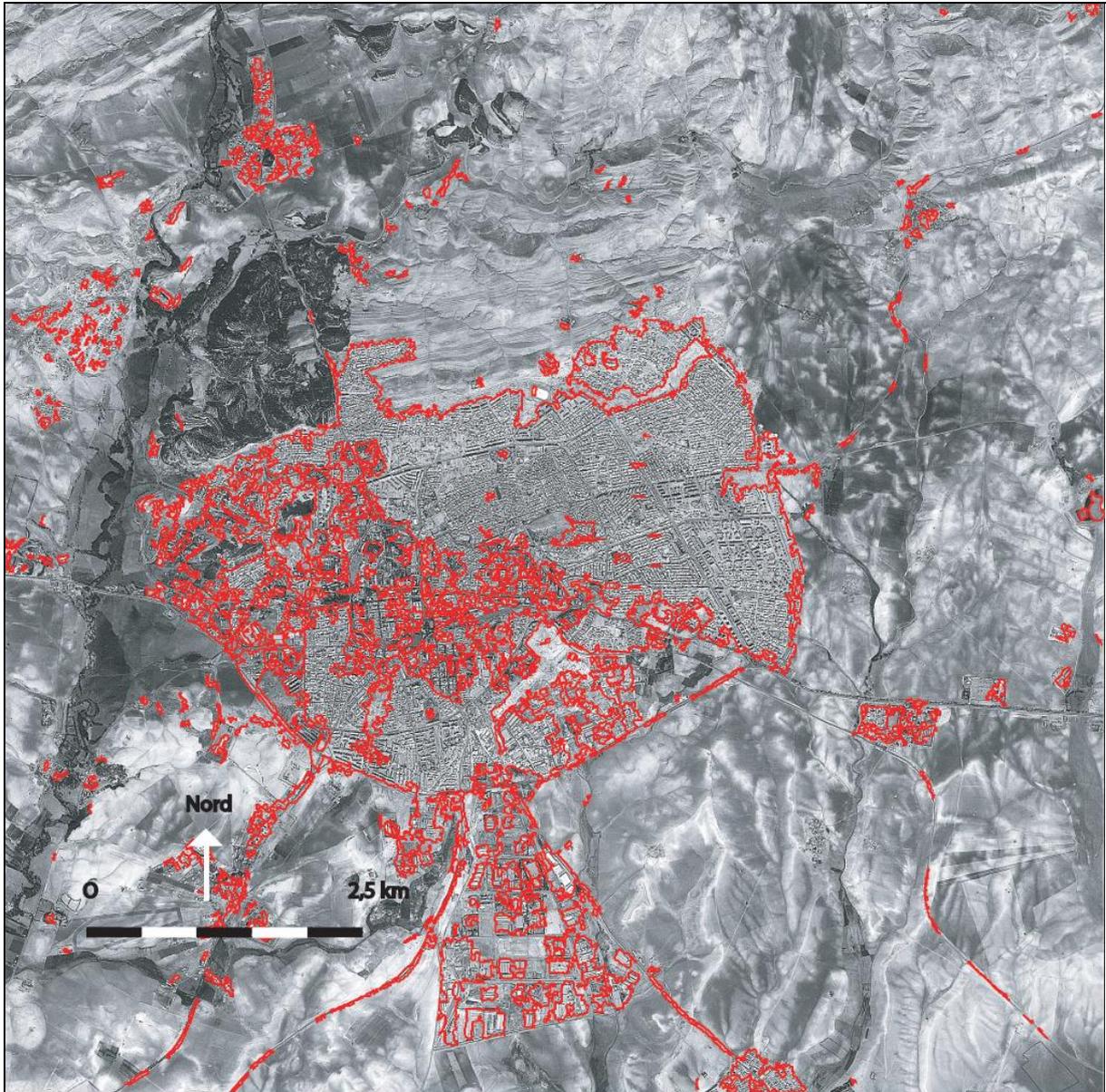
obtenu à partir de cette classe peut être calée dans l'**Image n°5**, ce qui est réalisé avec l'**Image n°7**, ou dans une image panchromatique à haute résolution, ainsi dans l'**Image n°8**.



**Image n°7** : Contour de l'urbain, en 2002 (contenu 20 pixels, polyligne 10), à partir de la classification précédente et mode Dxf projeté dans la composition colorée (Bleu : ACP1 canaux bruts ; Vert : Filtre dilatation sur ACP2 canaux bruts ; Rouge : Indice de végétation avec coefficient multiplicateur 128).

Lors de la production du contour, il est possible d'exclure les petits paquets de pixels, correspondant le plus souvent à des confusions. Il est ainsi indiqué en légende de l'**Image n°7** que ne furent sélectionnés que des groupes contenant au moins 20 pixels et alignant une dizaine de pixels (notion de polyligne). Ceci ne permet pas toutefois d'avoir une sélection parfaitement propre ne comprenant que des pixels correspondant à de l'urbain. Afin de vérifier la qualité des contours obtenus par la classification, il est nécessaire de projeter ceux-ci dans des images panchromatiques. Dans l'image panchromatique récente de 2002, acquise

par Spot 5 au même moment que l'image multispectrale<sup>21</sup>, mais avec une résolution spatiale de 5 m, puis dans une image panchromatique ancienne, ayant la même résolution spatiale de 10 m que la multispectrale de Spot 5.

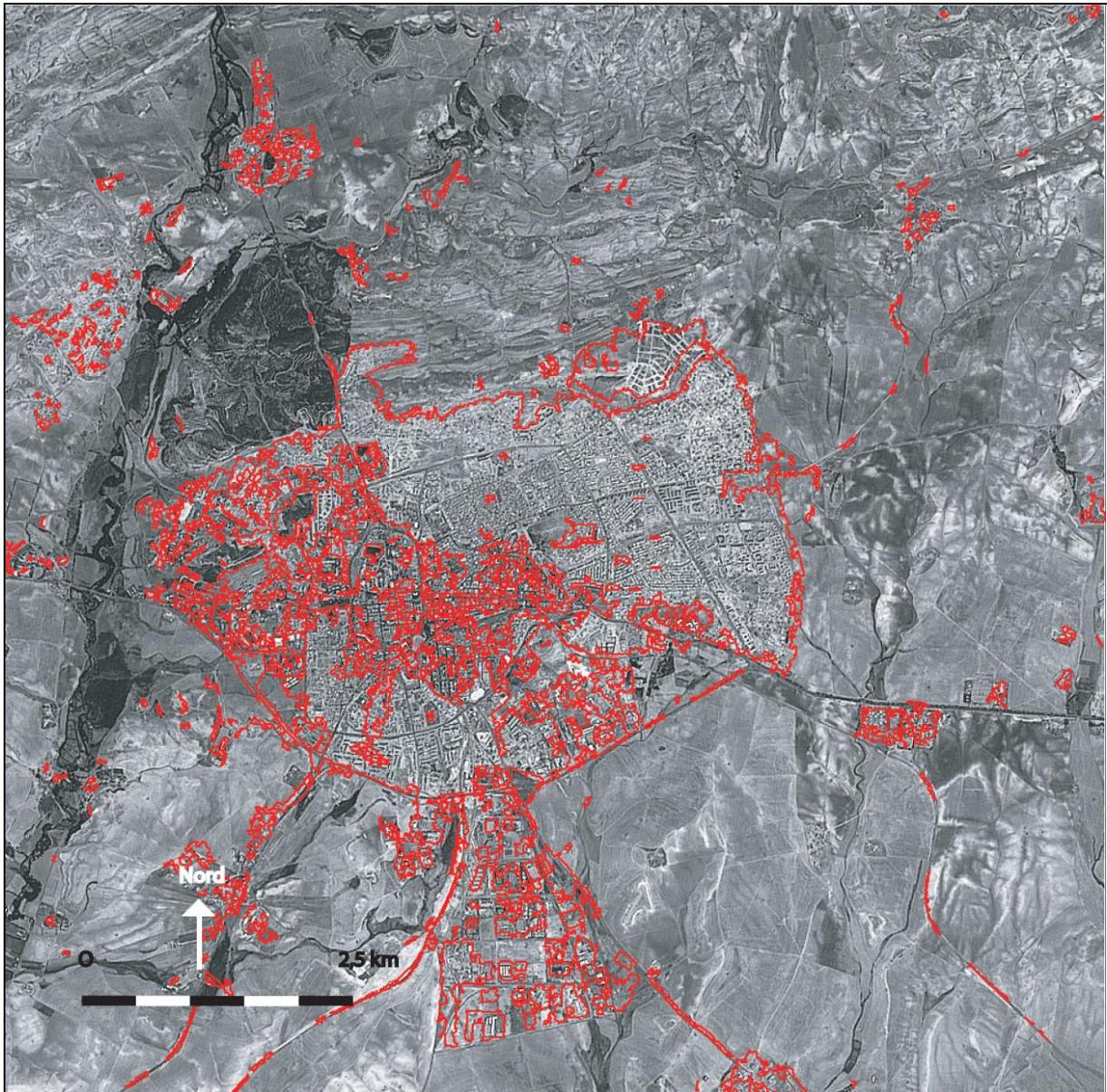


**Image n°8 (« IMAGE A » de Sétif)** : Projection des contours Dxf de l'urbain en 2002, dans l'image panchromatique Spot 5 filtrée mas, du 6 octobre 2002 (résolution à 5 m).

Afin d'améliorer le rendu des images panchromatiques Spot 2 et Spot 5, ont été utilisés des filtres mas. Ceux-ci sont qualifiés de filtres passe-haut et ont comme caractéristiques d'améliorer les détails provenant de l'image brute. Le filtre, par l'intermédiaire d'une matrice de convolution effectue un balayage des pixels de l'image en recalculant les valeurs de chacun d'entre eux. Dans le cas d'un filtre mas, sont pris en compte les valeurs du pixel central (fortement accentuée) et celles de son entourage immédiat

<sup>21</sup> Le **Tableau n°1** montre que les images panchromatique et multispectrales de Spot 5, furent obtenues lors du même passage dans le cas de Sétif (le 6 octobre 2002), de Ain Oulmene (de même le 6 octobre 2002) et de Beja (le 20 juillet 2002). Par contre, dans les cas de El Eulma et Borj Bu Arrerij, les images exploitées furent acquises séparément.

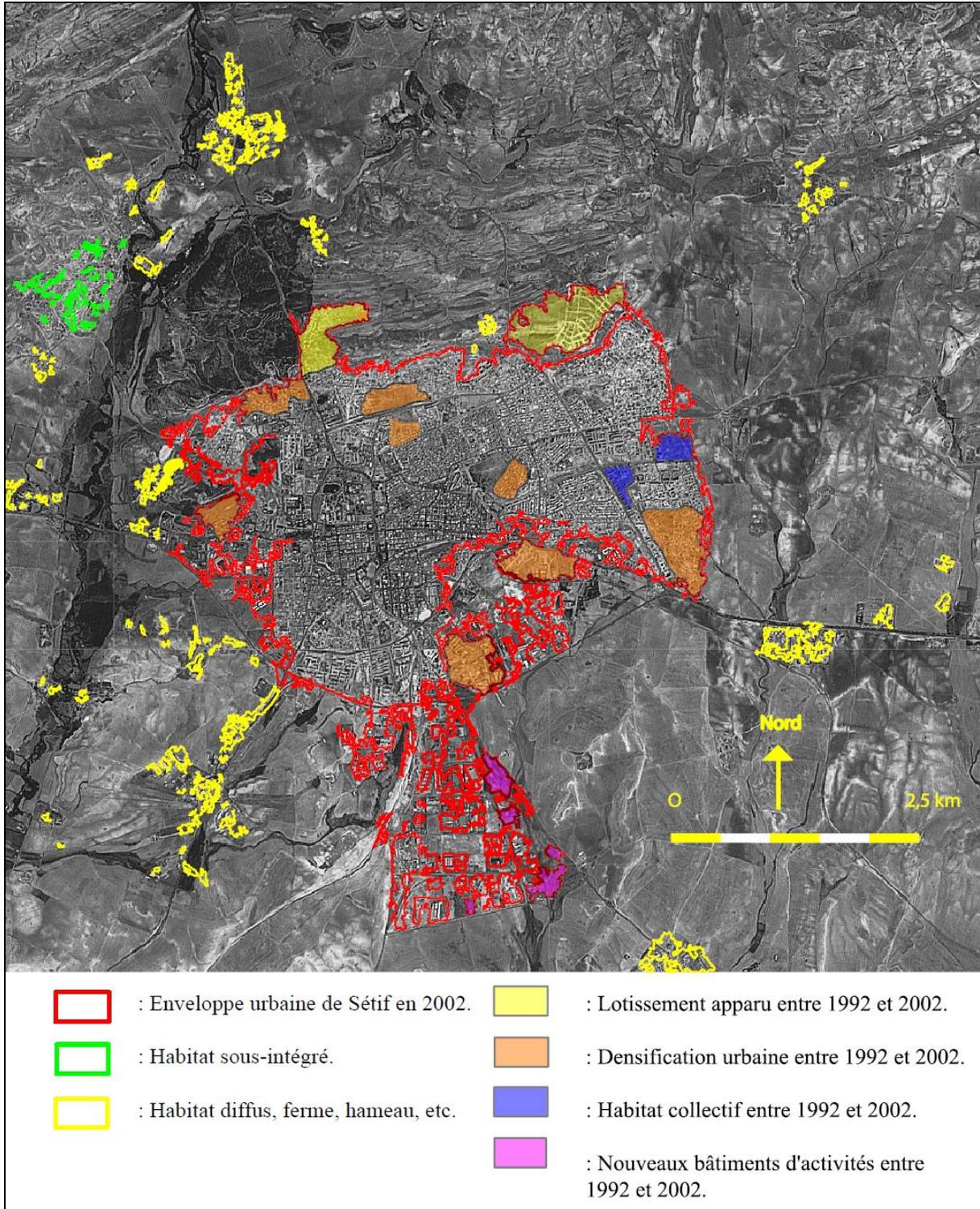
(diminuées). Les images ainsi filtrées sont souvent utilisées lors de l'analyse des espaces urbains.



**Image n°9** : Projection des contours Dxf de l'urbain en 2002, dans l'image panchromatique filtrée mas du 12 août 1992. Cette image constitue la base de **« l'IMAGE B » de Sétif**.

La projection des contours dans l'image panchromatique filtrée mas Spot 5 de 2002 (voir **Image n°8**), permet de valider la qualité de la classification supervisée précédemment obtenue. Il est possible de voir que l'espace urbanisé est englobé de manière fine dans le contour figurant en rouge. Chaque bâtiment de la zone industrielle Sud se retrouve à titre d'exemple clairement entouré. Si des espaces bâtis isolés se retrouvent correctement cernés par le contour, il faut également signaler que figurent des « polygones parasites » ne correspondant pas à de l'urbain. Ceci nécessitera un nettoyage de l'image. La projection des mêmes contours dans l'image panchromatique de 1992 (voir **Image n°9**), permet de mettre en évidence certains aspects des dynamiques urbaines. Quartiers en cours de lotissement, extension du front urbain, développement de zones d'habitat informel, constituent des marques des changements intervenus entre 1992 et 2002. Si la méthode parvient à distinguer

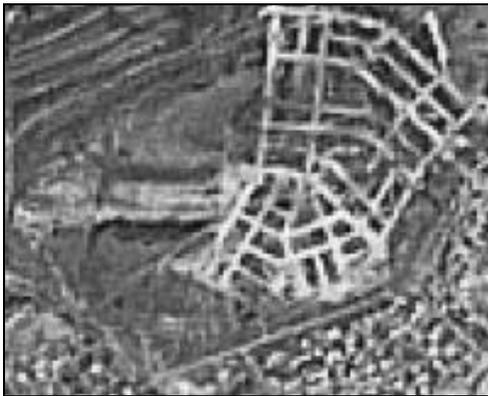
les principales évolutions des franges urbaines, elle n'offre pas d'indications sur les transformations internes au tissu urbain existant. Toutefois les densifications au sein de celui-ci sont indiquées. L'**Image n°10** (« **IMAGE B** ») a été obtenue par « image interprétation » des transformations entre « **l'IMAGE A** » et l'**Image n°9**. Elle constitue le document de synthèse de l'étude.



**Image n°10** (« **IMAGE B** » de Sétif) : Projection des contours Dxf simplifiés de l'urbain en 2002, dans l'image panchromatique filtrée mas du 12 août 1992 et modifications intervenues entre 1992 et 2002.

## - 5) Analyse des résultats obtenus dans le cas de Sétif

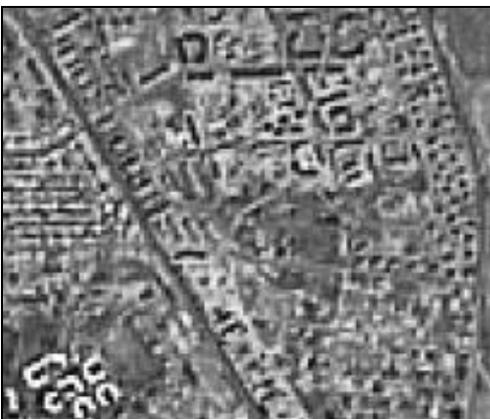
L'enveloppe urbaine de Sétif a connu une extension dans sa partie Nord avec la mise en construction de deux lotissements dont les trames viaires pouvaient déjà être discernées sur l'image panchromatique de 1992 (voir les deux extraits ci-dessous présentées dans **l'Image n°11**). Des constructions correspondant à de l'habitat collectif peuvent être distinguées à l'Est, elles emplissent des espaces inscrits dans le schéma urbain de la ville de 1992 (voir les deux extraits dans **l'Image n°12**). Il est par ailleurs à signaler la densification de plusieurs quartiers de Sétif (voir les deux extraits dans **l'Image n°13**). Ce processus ne sera que rarement rencontré dans les autres villes étudiées, celles-ci enregistrant préférentiellement des extensions urbaines périphériques.



**Image n°11** : (Extraits des images panchromatiques de Sétif du 12 août 1992 et du 6 octobre 2002) : Réalisation d'un lotissement au Nord-Est de Sétif.



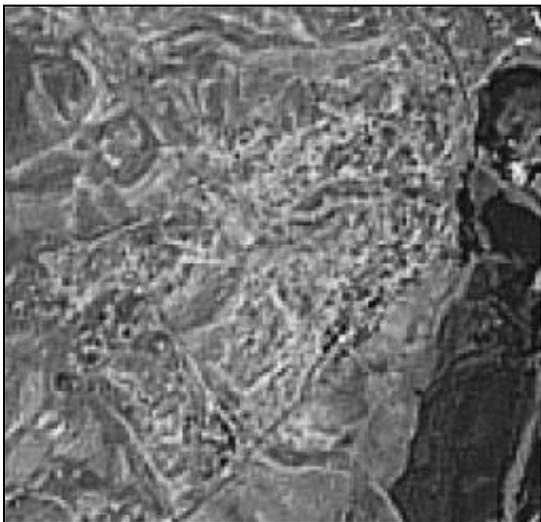
**Image n°12** : (Extraits des images panchromatiques de Sétif du 12 août 1992 et du 6 octobre 2002) : Développement de l'habitat collectif à l'Est de Sétif.



**Image n°13** : (Extraits des images panchromatiques de Sétif du 12 août 1992 et du 6 octobre 2002) : Densification de l'habitat au Sud-Est de Sétif.



**Image n°14** : (Extraits des images panchromatiques de Sétif du 12 août 1992 et du 6 octobre 2002) : Densification de la zone d'activités au Sud de Sétif.



**Image n°15** : (Extraits des images panchromatiques de Sétif du 12 août 1992 et du 6 octobre 2002) : Extension d'une zone d'habitat sous-intégré à l'Ouest de Sétif.

La comparaison terme à terme des deux images panchromatiques permet d'identifier l'extension de la zone d'activités de Sétif et sa densification (voir l'**Image n°14**). Cette dynamique sera également observée à El Eulma, avec de même, le regroupement des activités économiques dans une zone spécialement dédiée située au Sud de la ville. Sétif présente par ailleurs un phénomène, caractéristique de nombreuses grandes villes du Maghreb, mais non observé dans les autres villes de l'étude, celui d'une vaste zone d'habitat sous-intégré, implanté à l'Ouest de la ville (voir l' **Image n°15**). Cette zone n'est pas dans la continuité urbaine de Sétif. Elle est identifiée en soi sur l'**Image n°10** (code de couleur vert) qui constitue une synthèse des dynamiques urbaines de Sétif. Elle est appréhendée comme une forme d'habitat diffus.

## - 6) Limites de la méthodologie

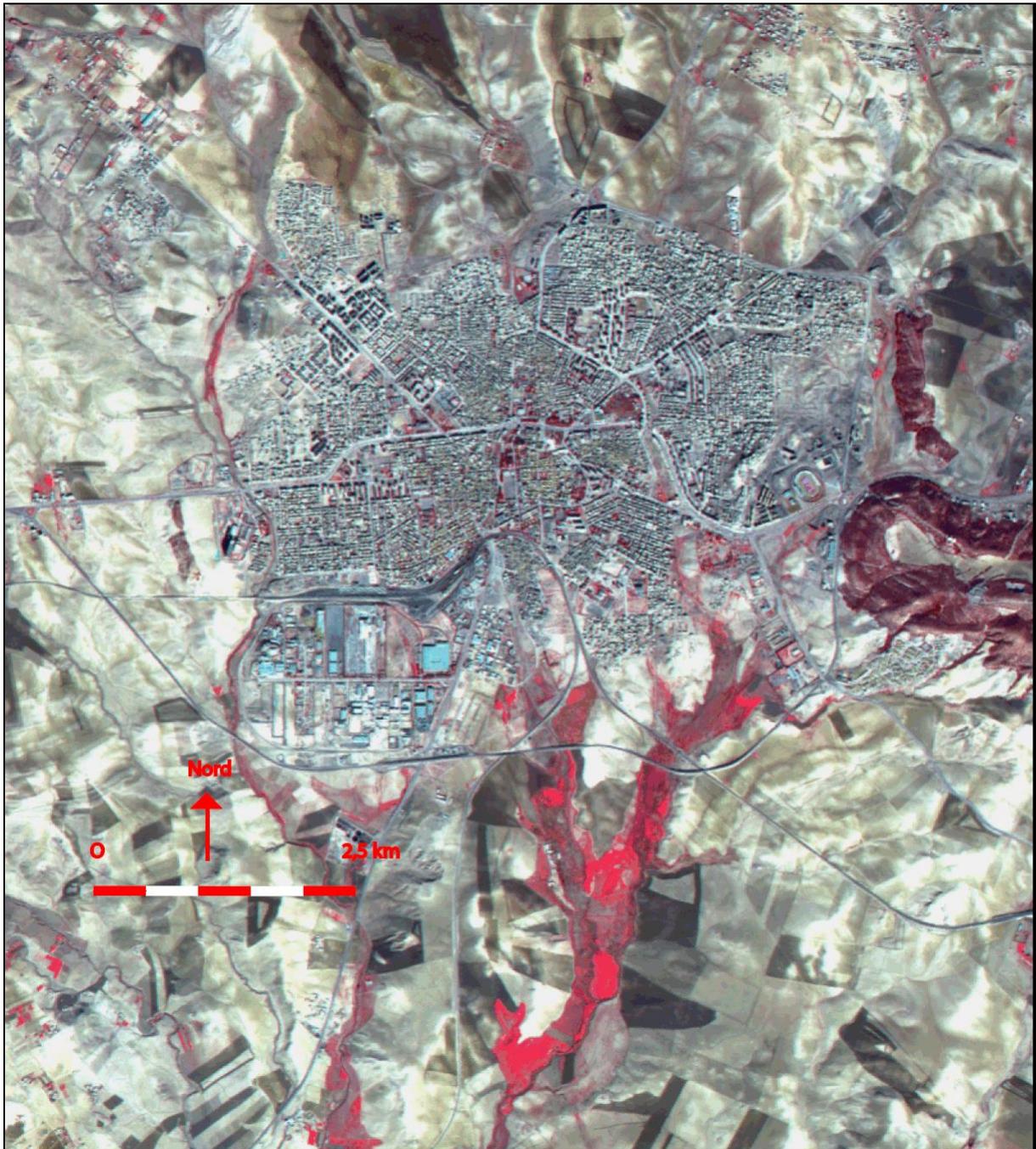
Les limites de la méthode proviennent des difficultés à obtenir une segmentation satisfaisante de l'image par les techniques de classification supervisée. Les limites de l'espace urbanisé de 2002 (ou 2003 dans le cas de Borj Bu Arrerij) ont certes été obtenues mais avec de nombreuses imprécisions qu'il a été nécessaire de « nettoyer » sous Illustrator. Autrement dit, le gain de temps obtenu dans l'automatisation du protocole et son application à l'identique sur les différents terrains de l'étude, est ensuite perdu dans un travail de précision sur les images. Ce qui vaut pour l'enveloppe urbaine est encore plus évident dans le cas de la caractérisation de l'intra-urbain. Les tentatives pour générer de manière automatique, après une saisie de « polygones d'apprentissage » correspondant à des formes spécifiques d'occupation de l'espace urbain (zone centrale dense, habitat collectif, zones d'activités, etc.) n'ont pas produit de résultats satisfaisants au regard de la réalité observée à partir des documents d'urbanisme disponibles ni du travail sur le terrain effectué lors des séjours d'étude. En conséquence, il fallut se rabattre sur un travail de comparaison terme à terme des deux images. L'étude diachronique a donc davantage consisté en une approche « d'interprétation d'images » après amélioration de celles-ci qu'en une réelle méthodologie automatisée susceptible d'être reproduite à l'identique sur d'autres terrains.

Ces limites sont toutefois en partie compensées par la qualité intrinsèque des images très haute résolution du satellite Spot 5, comme l'illustrent les Images n°11, n°12, n°13, n°14 et n°15, présentées en couple. La finesse de leur résolution permet dans la plupart des cas d'identifier sans guère d'incertitudes le mode d'occupation du sol. Comme le montreront par ailleurs les images qui vont être présentées dans le cas de Borj Bu Arrerij comme de El Eulma, il est aussi possible d'identifier les dynamiques actuelles de transformation des espaces périphériques par les traces observables résultant des viabilisations en cours. De telles traces avaient été mises en évidence dans le cas de l'image panchromatique de Sétif en 1992 (Images n°9 et n°11), avec les résultats consécutifs clairement identifiables par les images récentes de 2002 (Images n°8 et n°11).

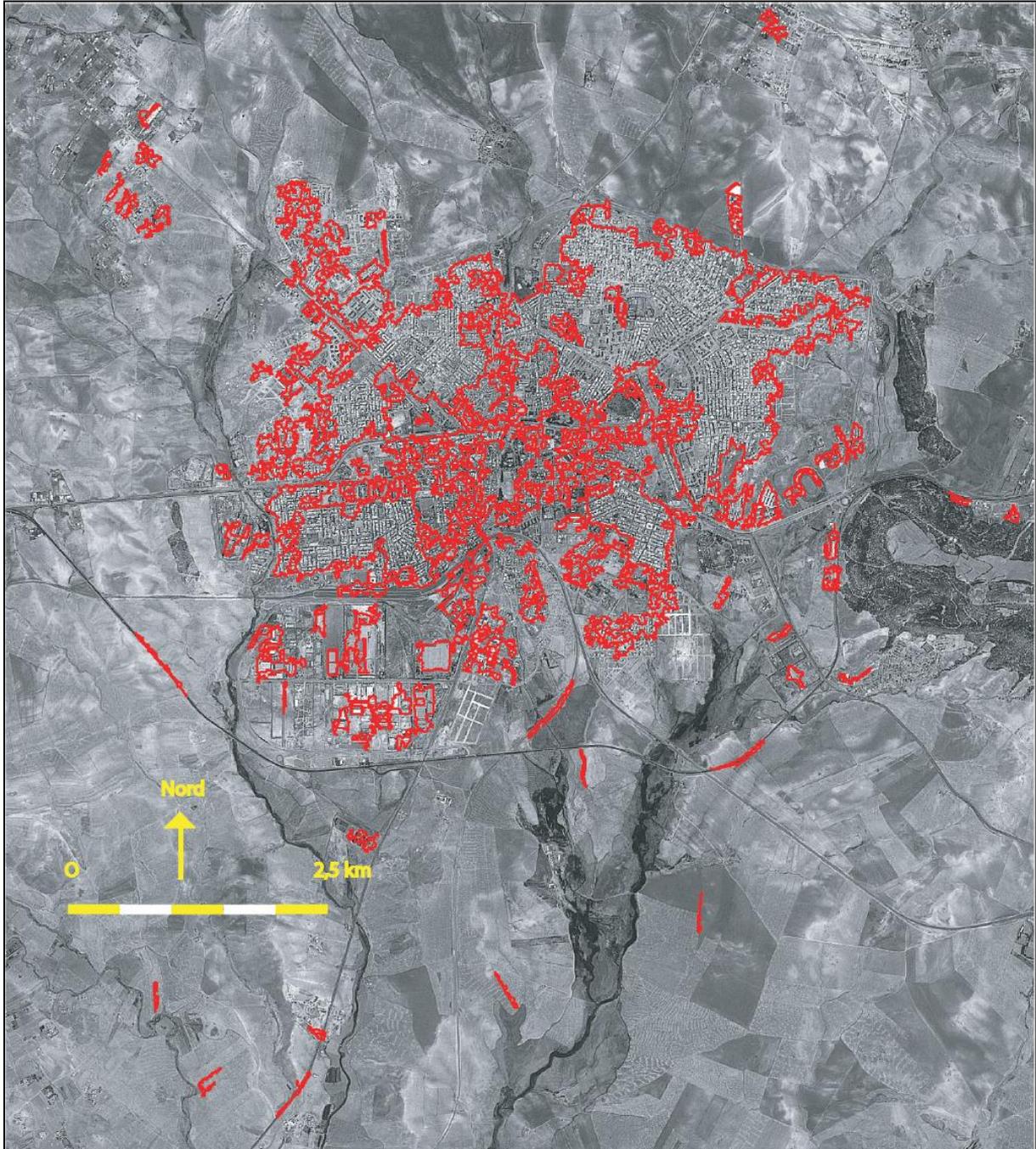
Afin d'améliorer le protocole d'exploitation des images dans l'optique poursuivie dans le cadre de cette étude, deux solutions aisées à mettre en œuvre sont à proposer : la première consisterait à travailler sur des images multispectrales pour la période la plus ancienne. Ce choix n'a pas été fait lors de la sélection initiale des images, il aurait permis de lancer des classifications supervisées permettant d'obtenir la tache urbaine de 1992. Le calage de ces limites dans les images récentes (panchromatique ou multispectrale) aurait permis de clairement saisir les dynamiques d'extension par ajout de nouvelles zones urbanisées. La résolution à 20 m des images multispectrales provenant des satellites Spot 1 ou Spot 2 ne constituent pas un réel handicap quand il s'agit d'obtenir les limites de la zone urbanisée. La seconde amélioration proviendrait d'une plus grande attention à la période d'obtention des images. Compte tenu du fait que l'étude portait sur les espaces urbanisés, le calendrier n'avait pas semblé déterminant. C'est ainsi que certaines images sélectionnées correspondaient à l'été (voir Tableau n°1) : cas de toutes les images panchromatiques de 1992. D'autres, par contre, pour la période récente, avaient été obtenues à l'automne : images multispectrales Spot 5 de Sétif, Ain Oulmene, Borj Bu Arrerij et El Eulma. Ceci a pu accroître les difficultés de dissociation entre espace urbain et sol périphérique non cultivé. Il semblerait en conséquence préférable de décaler la période de sélection des images vers un moment où les récoltes n'ont pas encore été effectuées. Si le calendrier agricole n'a aucune incidence sur la morphologie urbaine, il en a une relative sur la différenciation entre espace urbain et non urbain. Ceci contribuerait aisément à limiter certaines des confusions qui ont été signalées. Compte tenu des délais d'obtention des images auprès de Spot-Images, la plus grande attention doit être portée à leur sélection initiale.

- **7) Analyse des résultats obtenus sur les autres terrains algériens et tunisiens de l'étude : caractérisation des espaces en transformation à Borj Bu Arrerijj (Algérie)**

Dans le cas des autres terrains d'étude, ne seront présentées que les images permettant des analyses sur les transformations de l'occupation du sol, les traitements référant plus particulièrement aux aspects méthodologiques l'ont été dans le seul cas de Sétif. Ne seront ainsi conservées que : l'image fausses couleurs récente, l'image panchromatique récente avec calage des contours (« **IMAGE A** »), l'image panchromatique ancienne avec calage des contours actuels et l'image de synthèse (« **IMAGE B** »).

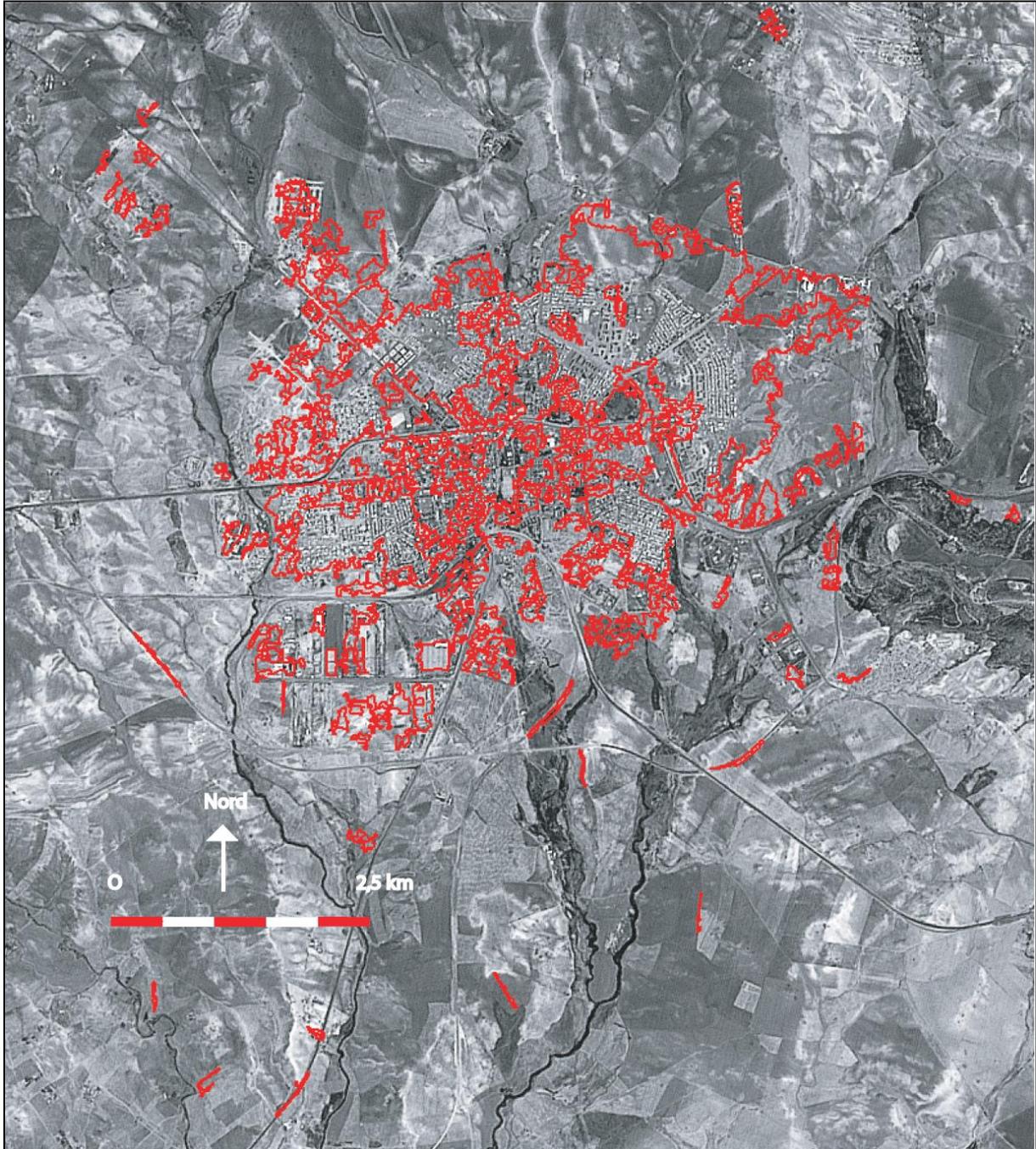


**Image n°16** : Fausses couleurs à partir des canaux bruts. Image multispectrale Spot 5 du 17 décembre 2002 (résolution à 10 m).



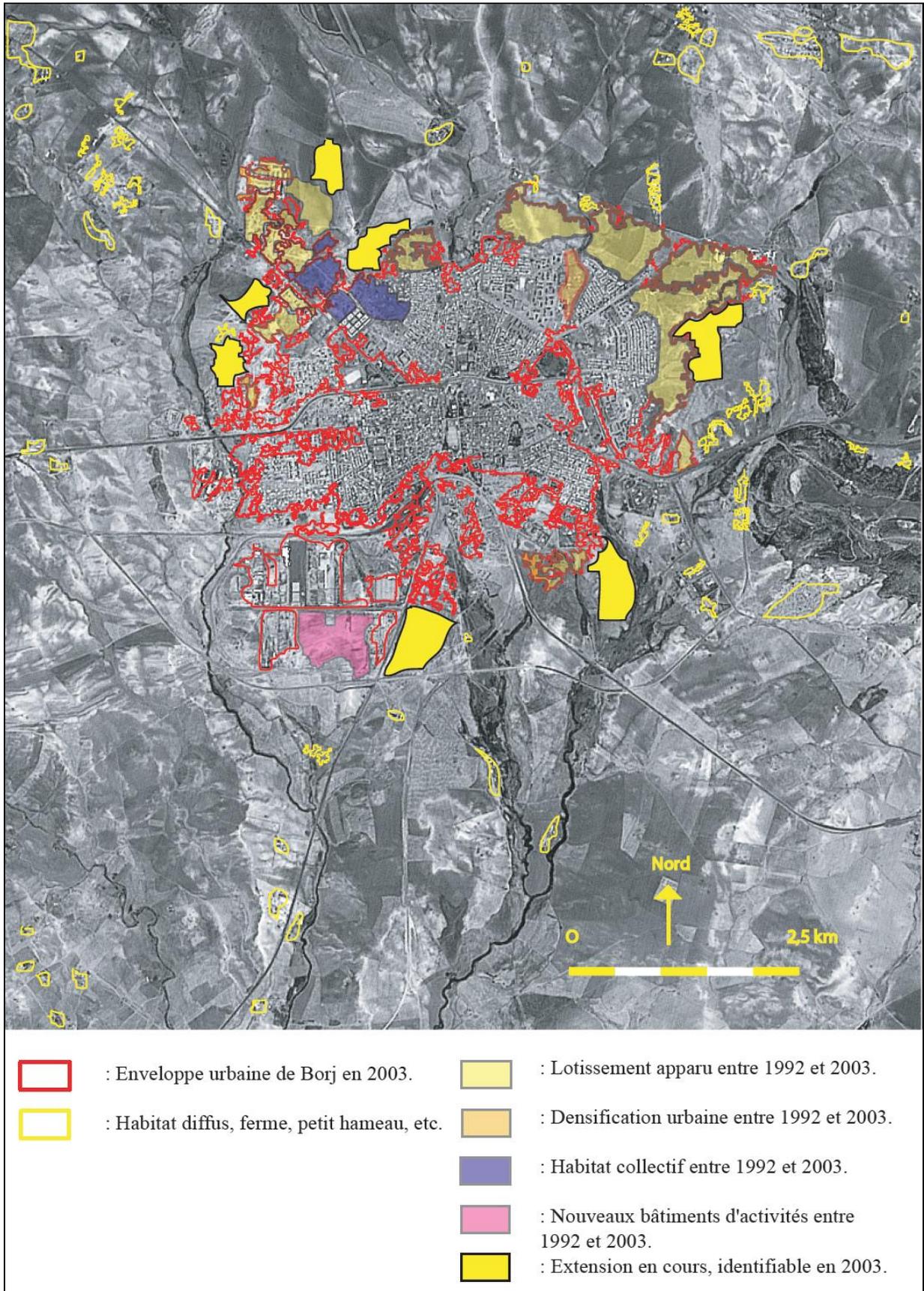
**Image n°17 (« IMAGE A » de Borj Bu Arrerij)** : Projection des contours Dxf de l'urbain en 2003, dans l'image panchromatique Spot 5 filtrée mas, du 8 juillet 2003 (résolution à 5 m).

Les dynamiques spatiales à Borj Bu Arrerij révèlent une forte consommation d'espace. Si la ville de 1992 (**Image n°18**) est à la fois de taille relativement réduite et laissant apparaître de nombreux espaces non bâtis au sein même de l'enveloppe urbaine, celle de 2002 montre de fortes croissances en particulier dans toute la partie Nord de la ville. Ces nouvelles constructions correspondent à de nouveaux bâtiments, à des lotissements accompagnant la croissance démographique de la ville. Dans le cas de Sétif avaient été identifiées des portions de la ville ayant enregistré de la densification. Cela ne semble pas le cas dans celui de Borj Bu Arrerij, la ville ayant davantage tendance à l'étalement urbain comme l'illustrent les deux portions d'image de la partie Nord-Est de la ville qui sont présentées en couple (voir **Image n°20**).



**Image n°18** : Projection des contours Dxf de l'urbain en 2003, dans l'image panchromatique filtrée mas du 3 juillet 1992. Cette image constitue la base de **« l'IMAGE B » de Borj Bu Arrerijj**.

La zone d'activités de Borj Bu Arrerijj, située au Sud de la ville, a connu une densification sur la période d'étude. Compte tenu de la densité observable sur l'image récente, des disponibilités foncières semblent encore exister sur cette zone, tout comme sur les zones d'activités de Sétif (voir **Image n°14**) ou sur celle de El Eulma (voir **Images n° 25 et n°26**). Dernier point remarquable dans le cas de Borj Bu Arrerijj : les nouvelles zones viabilisées destinées à accueillir de nouveaux lotissements ou des activités paraissent très vastes. Notons d'ailleurs que de tels aménagements figurent dans la partie Sud de la ville sur l'image panchromatique du 8 juillet 2003 (**Image n°17**) alors qu'elles n'apparaissent qu'en partie sur l'image multispectrale du 17 décembre 2002 (voir **Image n°16**).



**Image n°19 (« IMAGE B » Borj Bu Arrerijj)** : Projection des contours Dxf simplifiés de l'urbain en 2003, dans l'image panchromatique filtrée mas du 3 juillet 1992 et modifications intervenues entre 1992 et 2003.



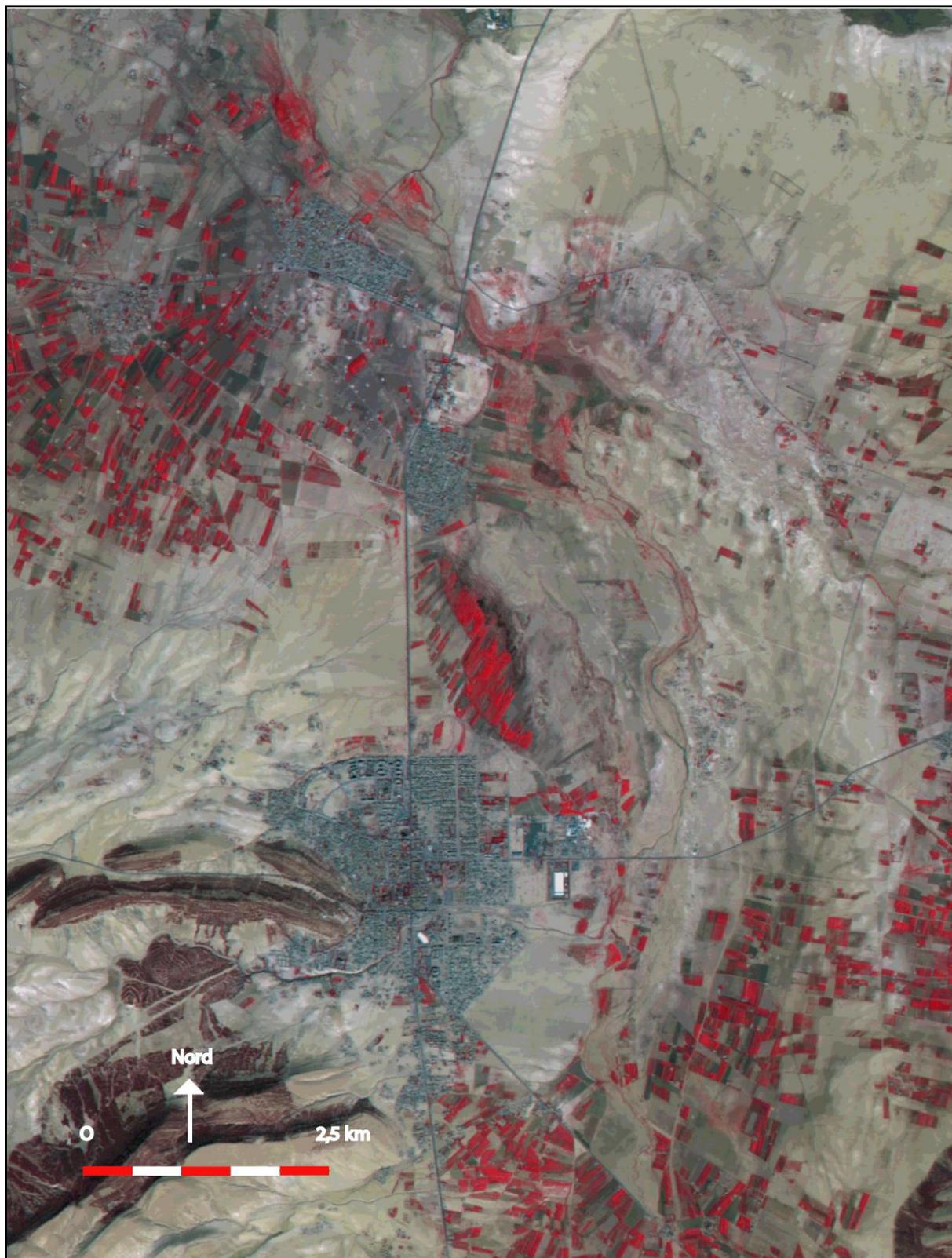
**Image n°20** : (Extraits des images panchromatiques de Borj Bu Arrerijj du 3 juillet 1992 et du 8 juillet 2003) : Réalisation de lotissements et d'un grand équipement (stade) au Nord-Est et à l'Est de Borj Bu Arrerijj.

## **8) Caractérisation des espaces en transformation à Ain Oulmene (Algérie)**

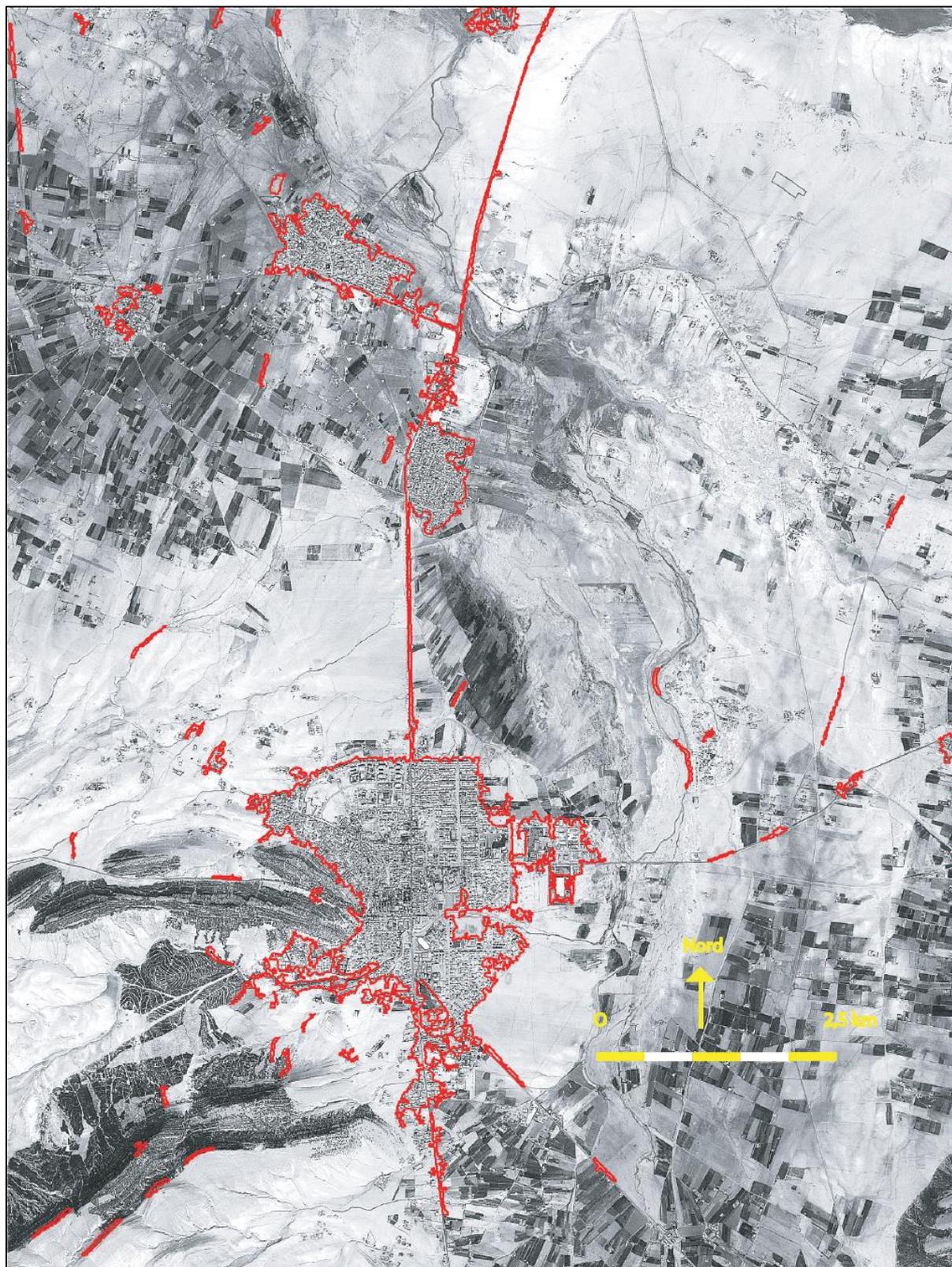
Parmi les villes faisant l'objet de l'étude, Ain Oulmene est celle qui se caractérise par la plus petite taille et par les transformations urbaines les plus limitées. Elle s'inscrit par ailleurs dans un espace rural où les petites exploitations agricoles isolées sont nombreuses. Le traitement « fausses couleurs » obtenu à partir de l'image multispectrale récente (voir **Image n°21**) permet de saisir l'organisation de cet espace. Il faut noter que dans le cas de Ain Oulmene (voir **Image n°22**), la classification supervisée n'est pas parvenue à les identifier alors que cela a été le cas aux alentours d'El Eulma (voir **Image n°26**).

« **L'Image B** » (voir **Image n°24**), image de synthèse de Ain Oulmene intégrant les modifications survenues entre 1992 et 2002, laisse apparaître des transformations urbaines limitées, essentiellement sous la forme de lotissements implantés dans le prolongement de l'enveloppe urbaine initiale. Ceci concerne d'ailleurs Ain Oulmene comme les autres petites villes présentes sur l'image, au Nord de cette dernière. Si des densifications au sein du tissu existant peuvent être observées dans la ville située le plus au Nord de l'image, ce n'est pas le cas à Ain Oulmene. Une attention plus fine portée à cette ville montre d'ailleurs que l'étalement modéré vers le Sud a laissé des espaces interstitiels potentiellement mobilisables pour bâtir, en particulier dans la partie Nord-Ouest de la ville. L'absence de transformation de cet espace intra-urbain nécessiterait d'en connaître l'usage urbain réel, information que l'image satellitaire ne peut fournir.

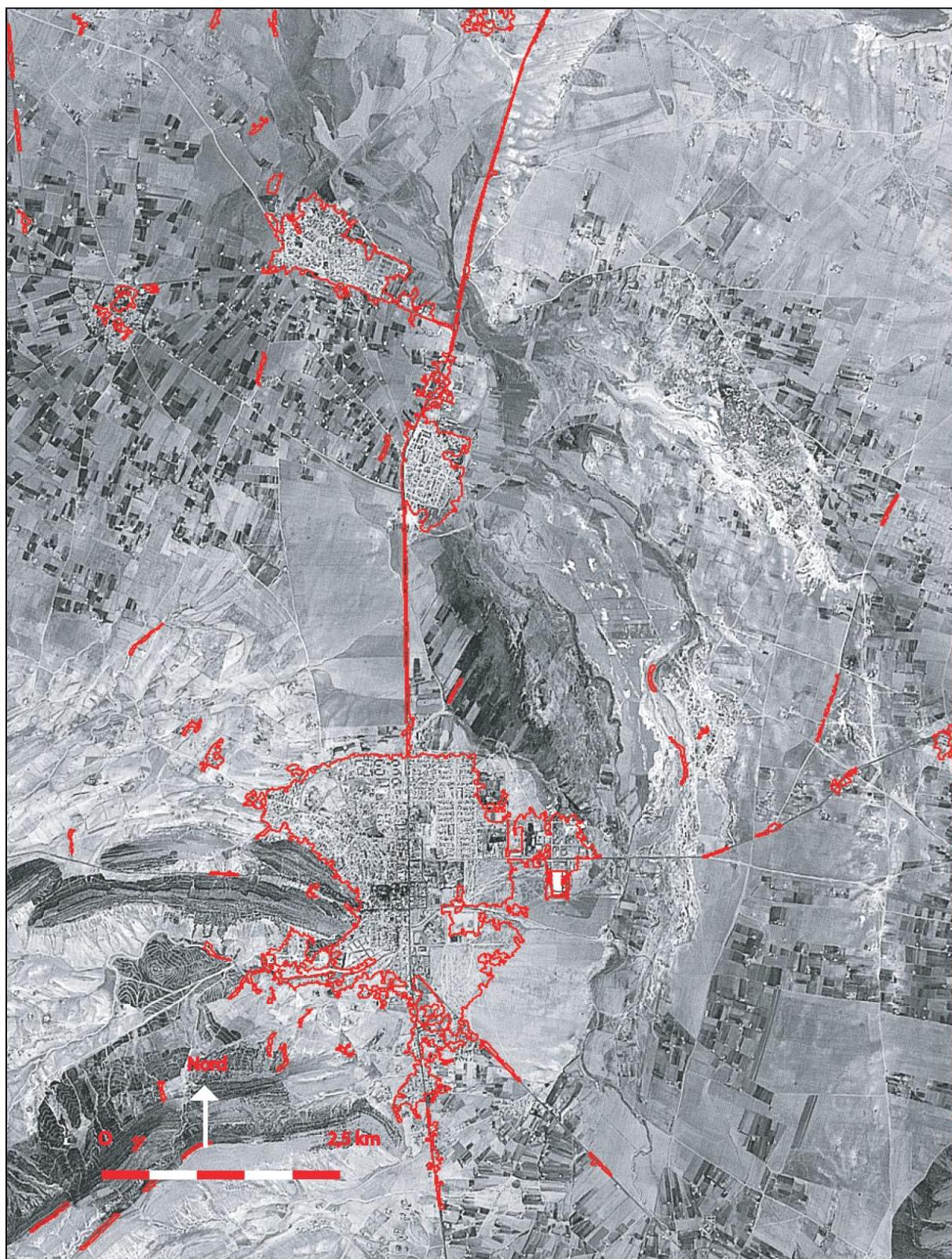
Aucune zone spécifiquement dédiée aux activités économiques n'est identifiable, ce qui ne signifie pas qu'il n'y ait eu de transformations du tissu économique local, mais bien que son impact spatial a été limité. Au final, la comparaison de Ain Oumene avec les autres villes de l'étude, la laisse davantage apparaître comme un bourg agricole que comme une ville aux fonctions diversifiées.



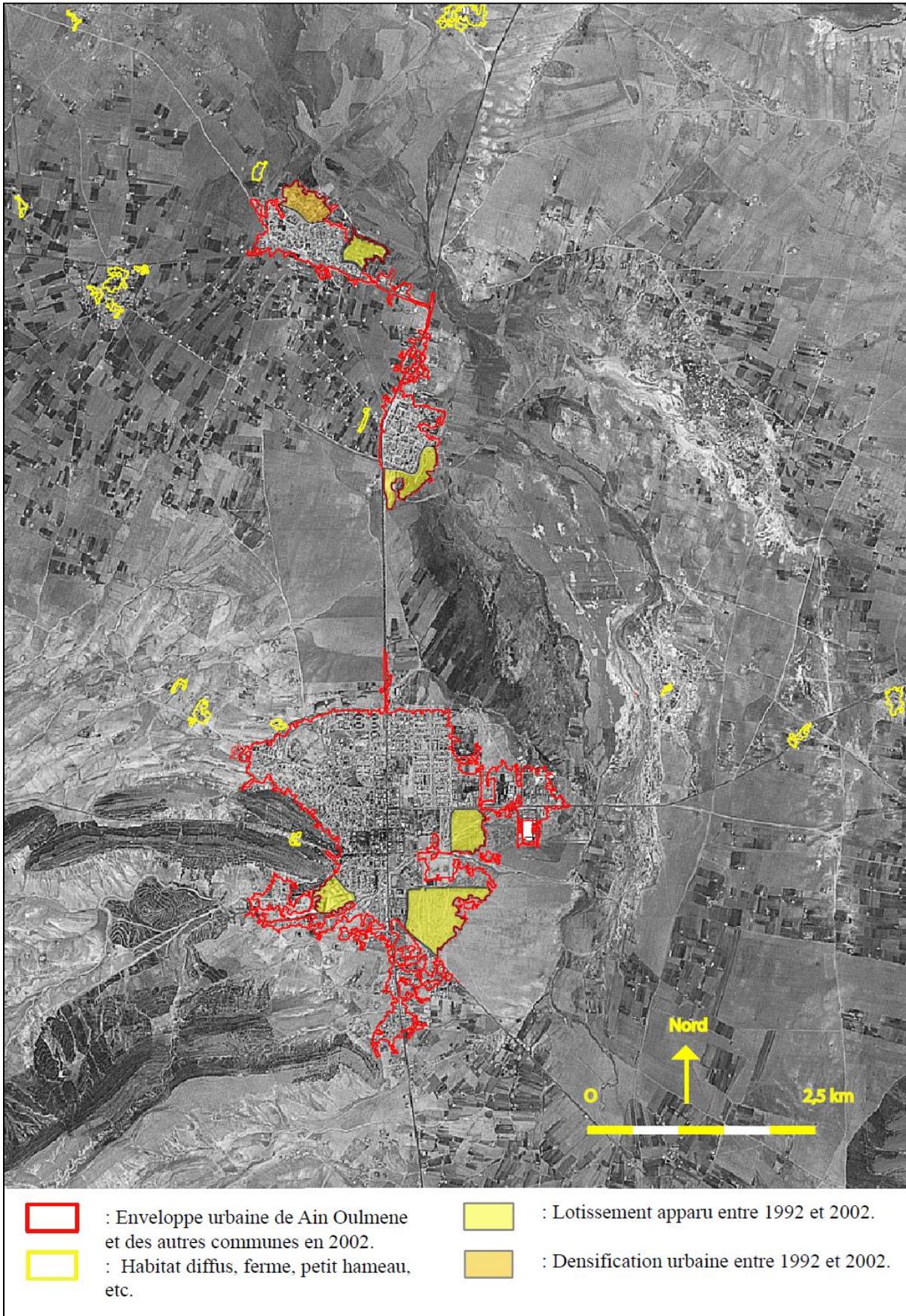
**Image n°21** : Fausses couleurs à partir des canaux bruts. Image multispectrale Spot 5 du 6 octobre 2002 (résolution à 10 m).



**Image n°22 (« IMAGE A » de Ain Oulmene)** : Projection des contours Dxf de l'urbain en 2002, dans l'image panchromatique Spot 5 filtrée mas, du 6 octobre 2002 (résolution à 5 m).



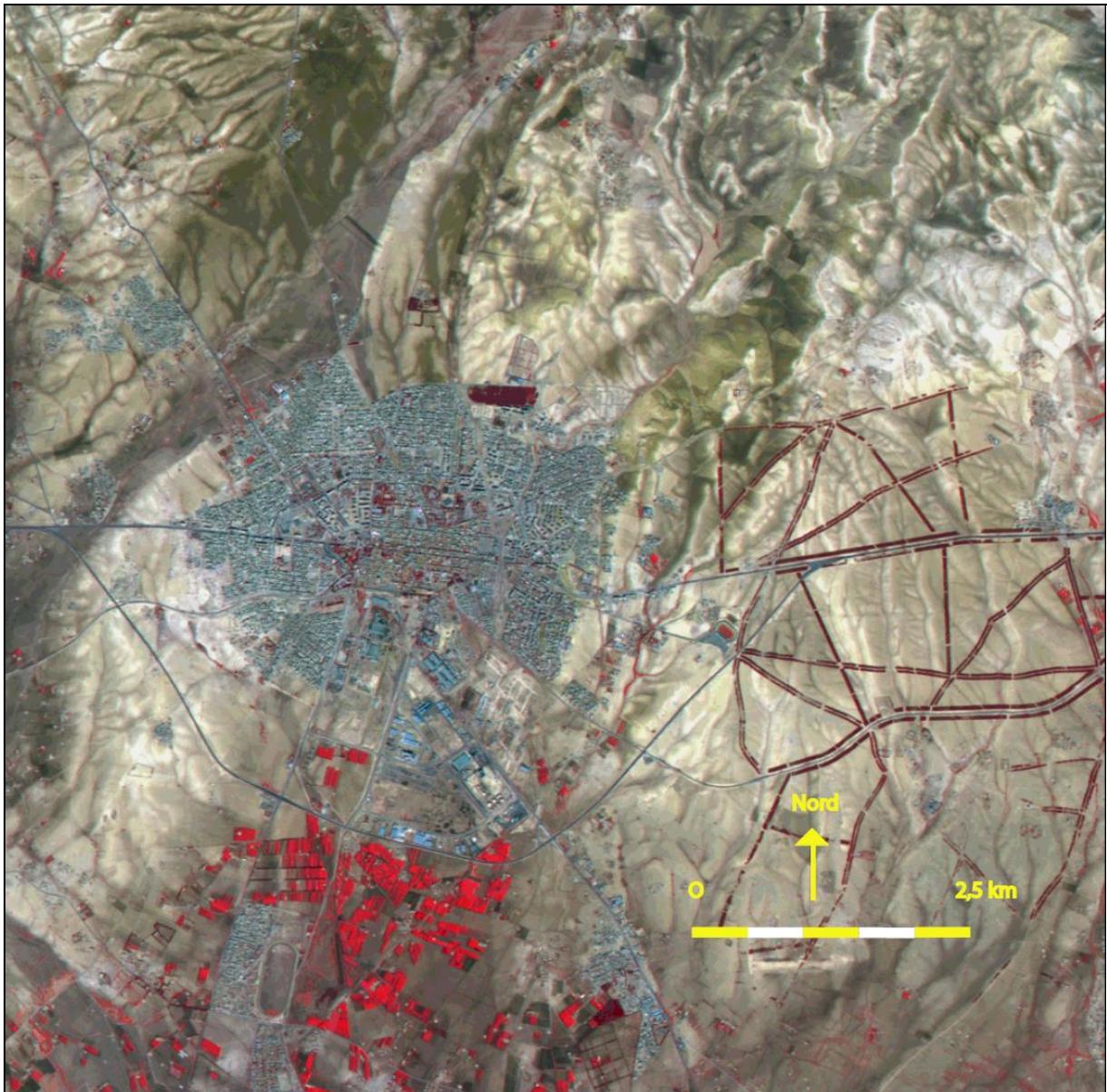
**Image n°23** : Projection des contours Dxf de l'urbain en 2002, dans l'image panchromatique filtrée mas du 12 août 1992. Cette image constitue la base de **« l'IMAGE B » de Ain Oulmene**.



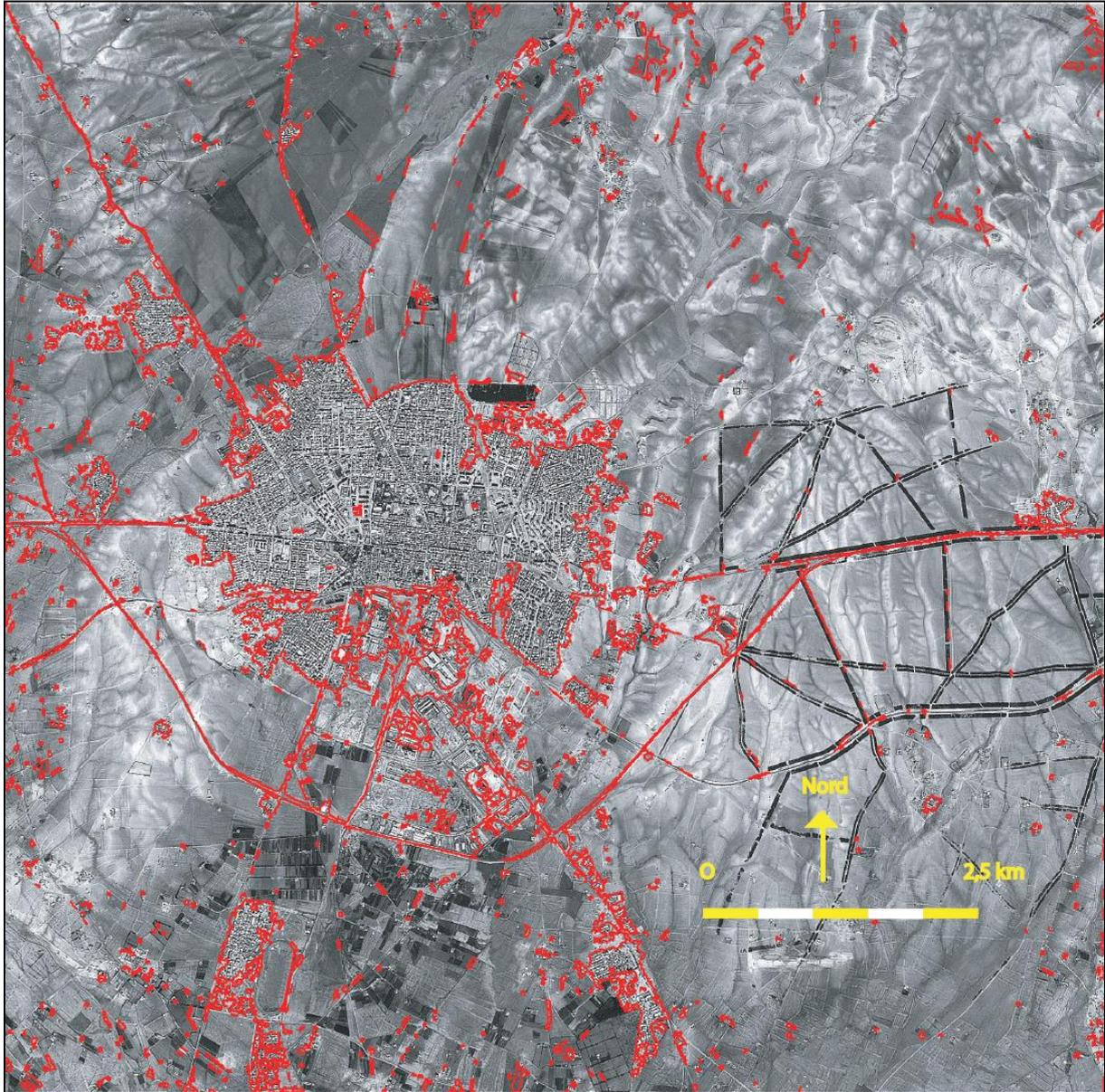
**Image n°24 (« IMAGE B » de Ain Oulmene)** : Projection des contours Dxf simplifiés de l'urbain en 2002, dans l'image panchromatique filtrée mas du 12 août 1992 et modifications intervenues entre 1992 et 2002.

## - 9) Caractérisation des espaces en transformation à El Eulma (Algérie)

El Eulma, ville au surprenant dynamisme économique qui lui vaut d'être surnommée localement « Dubaï », présente certaines similitudes avec Borj Bu Arrerijj, en termes de dynamiques spatiales : étalement urbain par des lotissements périphériques, densification de la zone d'activités. L'image fausses couleurs (voir **Image n°25**) permet de distinguer le noyau urbain initial ainsi que les axes radiaux de croissance, le triangle Sud regroupant les principales installations économiques, avec une desserte routière clairement identifiable. Cette structuration de l'espace a déjà été observée dans les cas de Sétif et de Borj Bu Arrerijj, mais non dans celui de Ain Oulmene. Dans la région d'El Eulma peuvent par contre être identifiés de nombreux bâtiments isolés. Il s'agit le plus souvent d'exploitations agricoles. Les axes rouges sombres qui apparaissent à l'Est de la ville correspondent à des plantations.



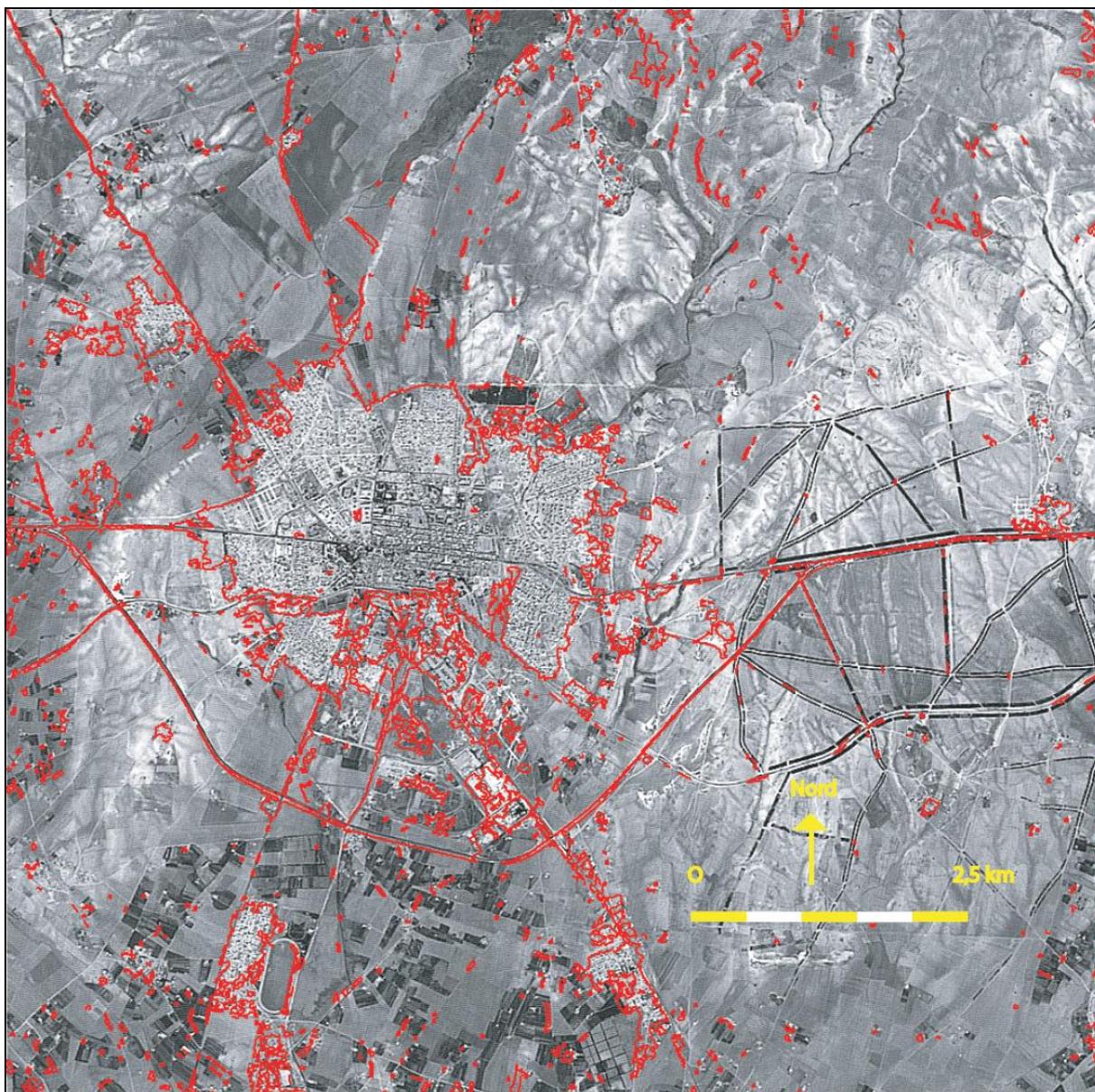
**Image n°25** : Fausses couleurs à partir des canaux bruts. Image multispectrale Spot 5 du 6 octobre 2002 (résolution à 10 m).



**Image n°26 (« IMAGE A » de El Eulma) :** Projection des contours Dxf de l'urbain en 2002, dans l'image panchromatique Spot 5 filtrée mas, du 11 novembre 2002 (résolution à 5 m).

Si la consommation d'espace destinée à la fonction résidentielle n'a pas été aussi importante à El Eulma qu'elle le fut à Borj Bu Arrerij sur la dizaine d'années de l'étude, il n'en demeure pas moins qu'elle a conduit à une extension du périmètre urbanisé dans la continuité de celui existant. Le processus n'est d'ailleurs pas achevé comme l'indique **l'Image n°28**, de nouvelles zones ont été viabilisées au Nord de la ville. Ceci traduit le déplacement du « front urbain ». El Eulma comme Borj Bu Arrerij ne croissent donc pas par diffusion anarchique d'un habitat pavillonnaire périphérique mais d'abord par des programmes immobiliers jouxtant le tissu urbain initial. Un phénomène puissant de périurbanisation amorcée par le développement de migrations pendulaires dans la dépendance du véhicule individuel, ne semble pas marquer ces espaces urbains. Les formes urbaines observées inciteraient davantage à postuler à une grande dépendance des actifs locaux à l'encontre de leur pôle d'emploi respectif. Parmi les arguments plaidant dans le même sens, il est à noter que les axes routiers liant chacune de ces villes avec l'extérieur ne constituent pas des axes privilégiés d'urbanisation, de même les villages situés dans l'influence des ces

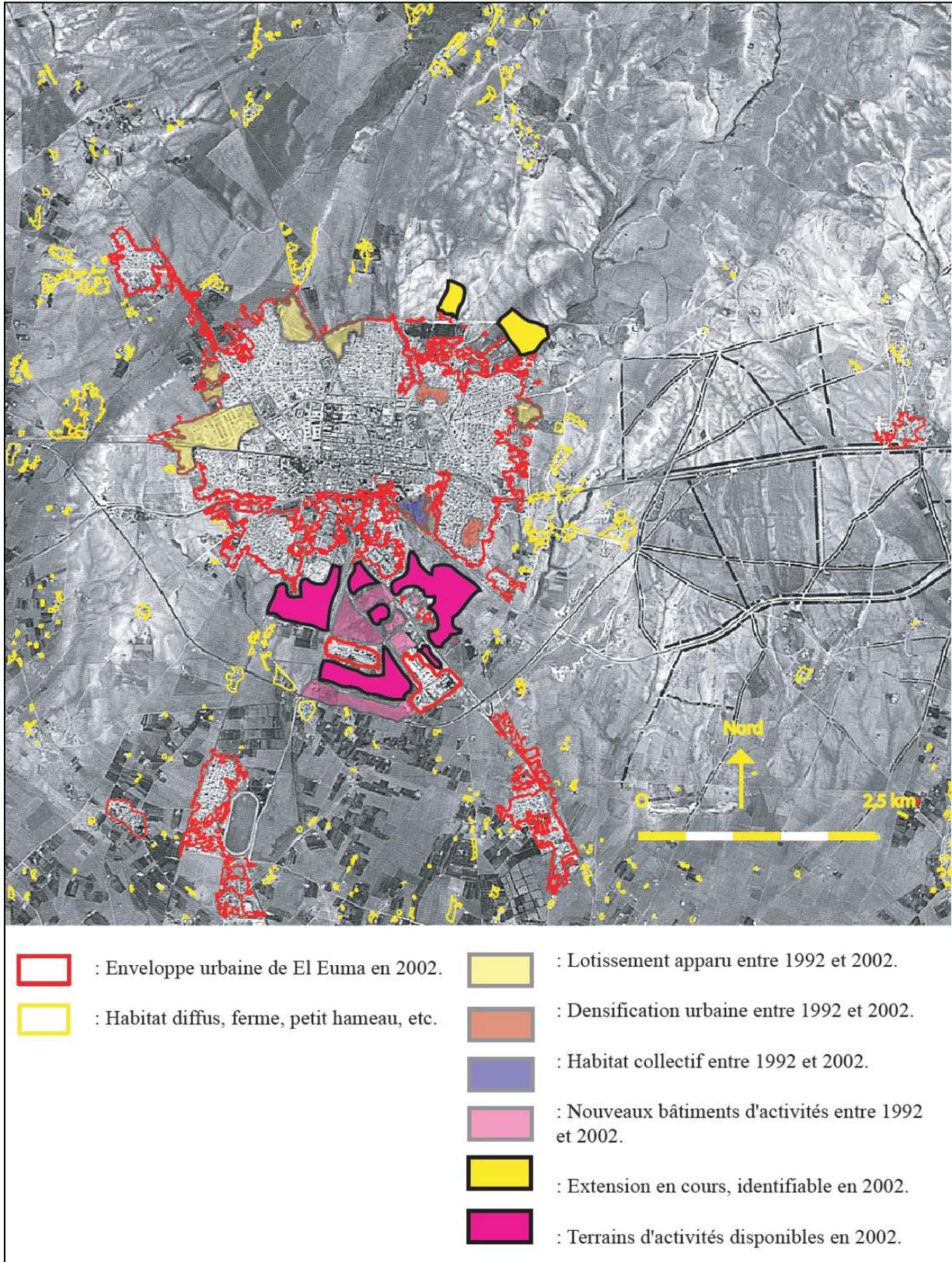
centres urbains ne semblent pas avoir enregistré de croissance significative. Les hypothèses résultant de l'analyse des images satellitaires ne pourraient être validées que par des enquêtes réalisées auprès des populations locales.



**Image n°27** : Projection des contours Dxf de l'urbain en 2002, dans l'image panchromatique filtrée mas du 28 août 1992. Cette image constitue la base de **« l'IMAGE B » de EL Eulma**.

La zone d'activités d'El Eulma, clairement identifiable sur l'image panchromatique de 1992 (voir **Images n°27** et **n°29**) est desservie par une demie rocade de contournement. Ce modèle est similaire à celui de Borj Bu Arrerij (la demie rocade de contournement concerne là aussi le Sud de la ville et par conséquent la zone d'activités comme le montrent les **Images n°17** et **n°18**). Dans les deux cas, cet axe routier constitue une « limite de la ville » dont la partie interne a connu un progressif remplissage sur la période d'étude. Ces zones d'activités offrent des terrains viabilisés et des disponibilités foncières propices à des installations de grand taille. La dynamique observée dans le cas d'El Eulma (voir **Image n°28**) révèle à la fois la situation initiale de 1992, les transformations enregistrées entre 1992 et 2002 et également les espaces potentiellement disponibles pour de nouvelles implantations. En dépit de leurs

qualités intrinsèques, les images Spot ne permettent pas de déterminer la nature de ces activités.

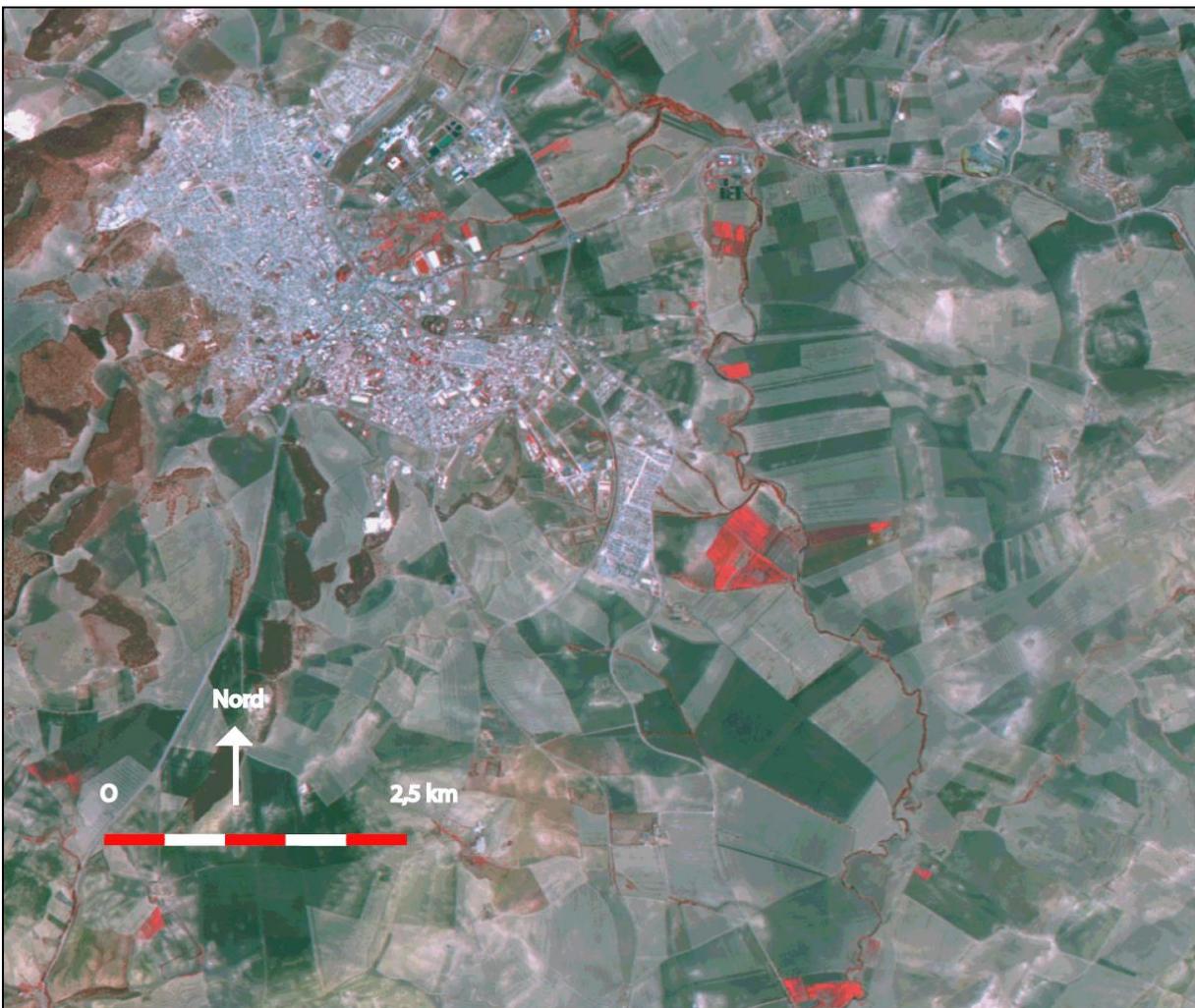


**Image n°28 (« IMAGE B » de El Eulma)** : Projection des contours Dxf simplifiés de l'urbain en 2002, dans l'image panchromatique filtrée mas du 28 août 1992 et modifications intervenues entre 1992 et 2002.

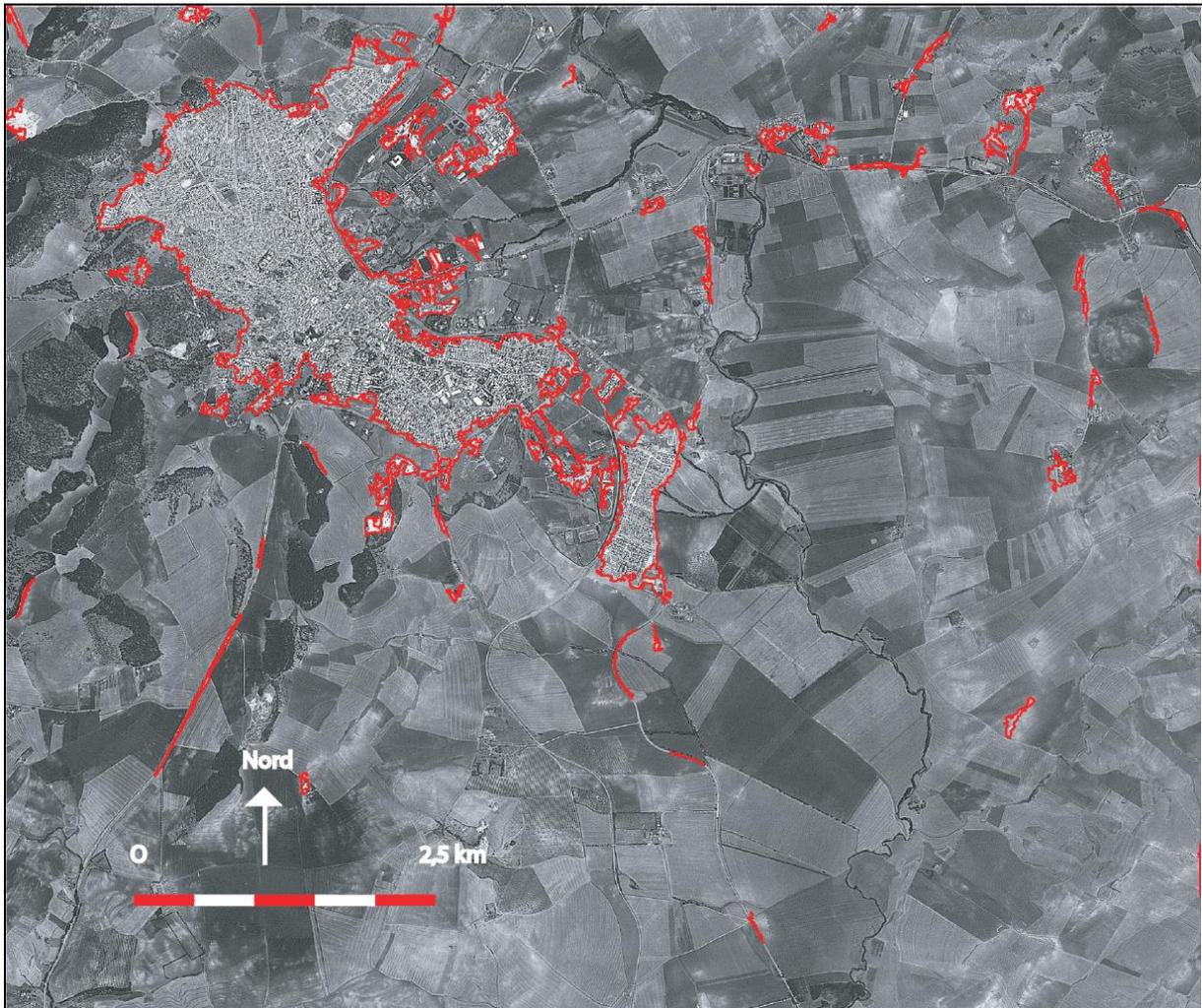


**Image n°29** : (Extraits des images panchromatiques d'El Eulma du 28 août 1992 et du 11 novembre 2002) : Densification de la zone d'activités au Sud d'El Eulma.

- **10) Caractérisation des espaces en transformation à Beja (Tunisie)**



**Image n°30** : Fausses couleurs à partir des canaux bruts. Image multispectrale Spot 5 du 20 juillet 2002 (résolution à 10 m).



**Image n°31 (« IMAGE A » de Beja) :** Projection des contours Dxf de l'urbain en 2002, dans l'image panchromatique Spot 5 filtrée mas, du 20 juillet 2002 (résolution à 5 m).

La ville de Beja, plus compacte que les villes algériennes précédemment étudiées, se situe dans une région rurale intensément mise en valeur, avec un parcellaire clairement identifiable qui permet de distinguer les **Images n°30, n°31 et n°32**. La ville a enregistré des évolutions limitées de son espace urbain entre 1992 et 2002. À la différence des villes de Borj Bu Arrerij ou de El Eulma qui ont connu une forte extension de leur enveloppe urbaine, celle de Beja est demeurée globalement stable sur la période, si l'on excepte la réalisation d'un lotissement au Nord-Est de la ville à proximité d'une zone d'activités ayant elle-même enregistré une très légère densification et de la construction de quelques bâtiments d'habitat collectif à l'Ouest. **L'Image n°33** permet de comparer directement la portion de la ville de Beja ayant connu les plus fortes modifications sur la période.

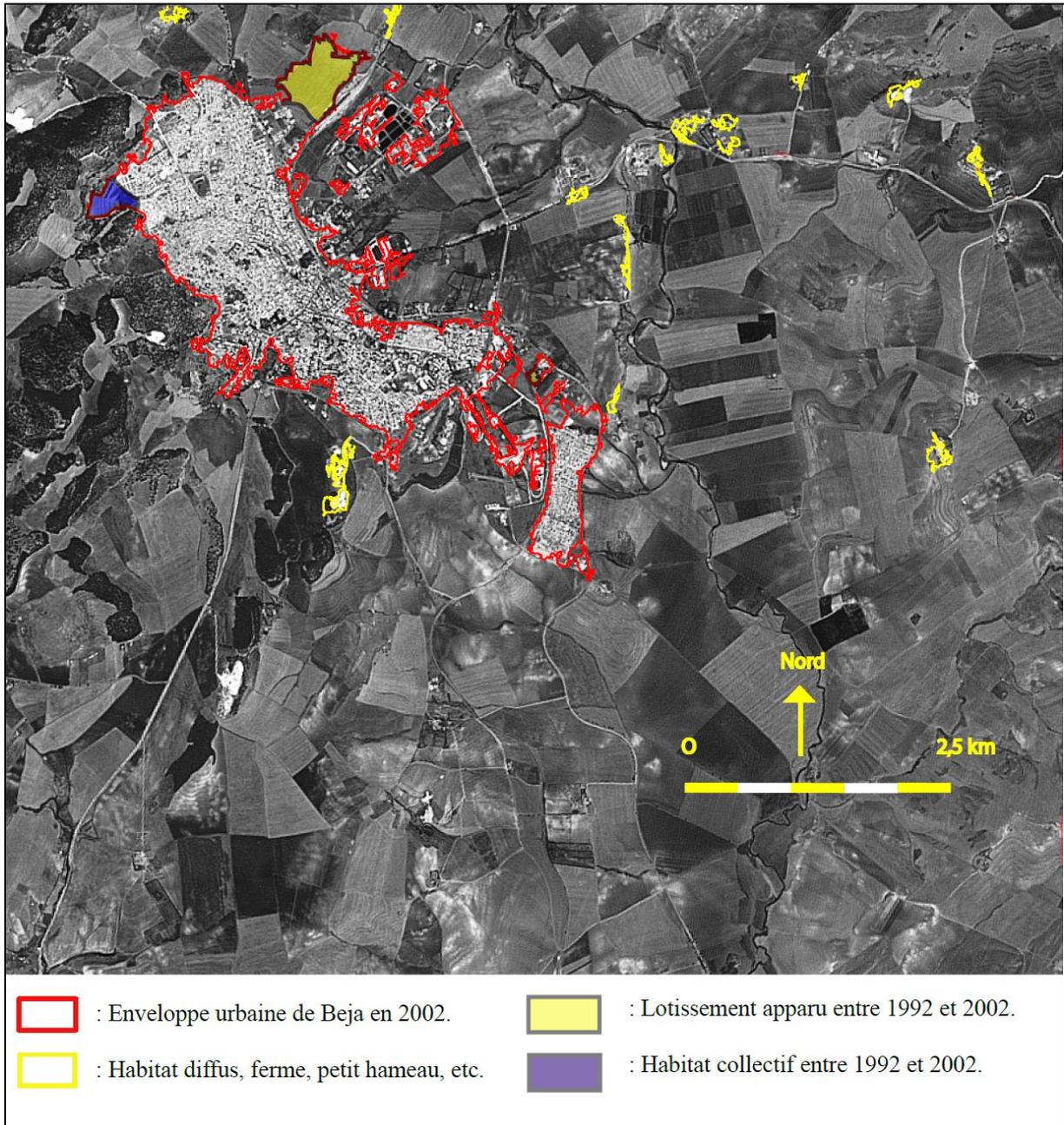
De même, les infrastructures de transport sont restées identiques sur la période. Ne sont pas observées ici de relations directes entre zones d'activités et axes de liaison spécifiquement dédiés. Si ceci paraît jouer un rôle dans le choix d'implantation des zones d'activités des villes algériennes que sont Sétif, Borj Bu Arrerij ainsi qu'El Eulma, cela n'est pas le cas à Beja. Nonobstant sa forte compacité et les fonctions administratives qui sont les siennes, cette ville ressemblerait davantage à El Oulmene sur le plan des dynamiques urbaines. **L'Image n°34** qui synthétise les évolutions enregistrées sur ce territoire urbain, traduit cette impression de stabilité. Celle-ci n'est pas compensée par un accroissement de la densité du tissu urbain existant, la compacité de celui-ci limitant les opportunités.



**Image n°32** : Projection des contours Dxf de l'urbain en 2002, dans l'image panchromatique filtrée mas du 31 août 1992. Cette image constitue la base de « **l'IMAGE B** » de Beja.



**Image n°33** : (Extraits des images panchromatiques de Beja du 31 août 1992 et du 20 juillet 2002) : Réalisation d'un lotissement au Nord-Est de Beja et densification de la zone d'activités.



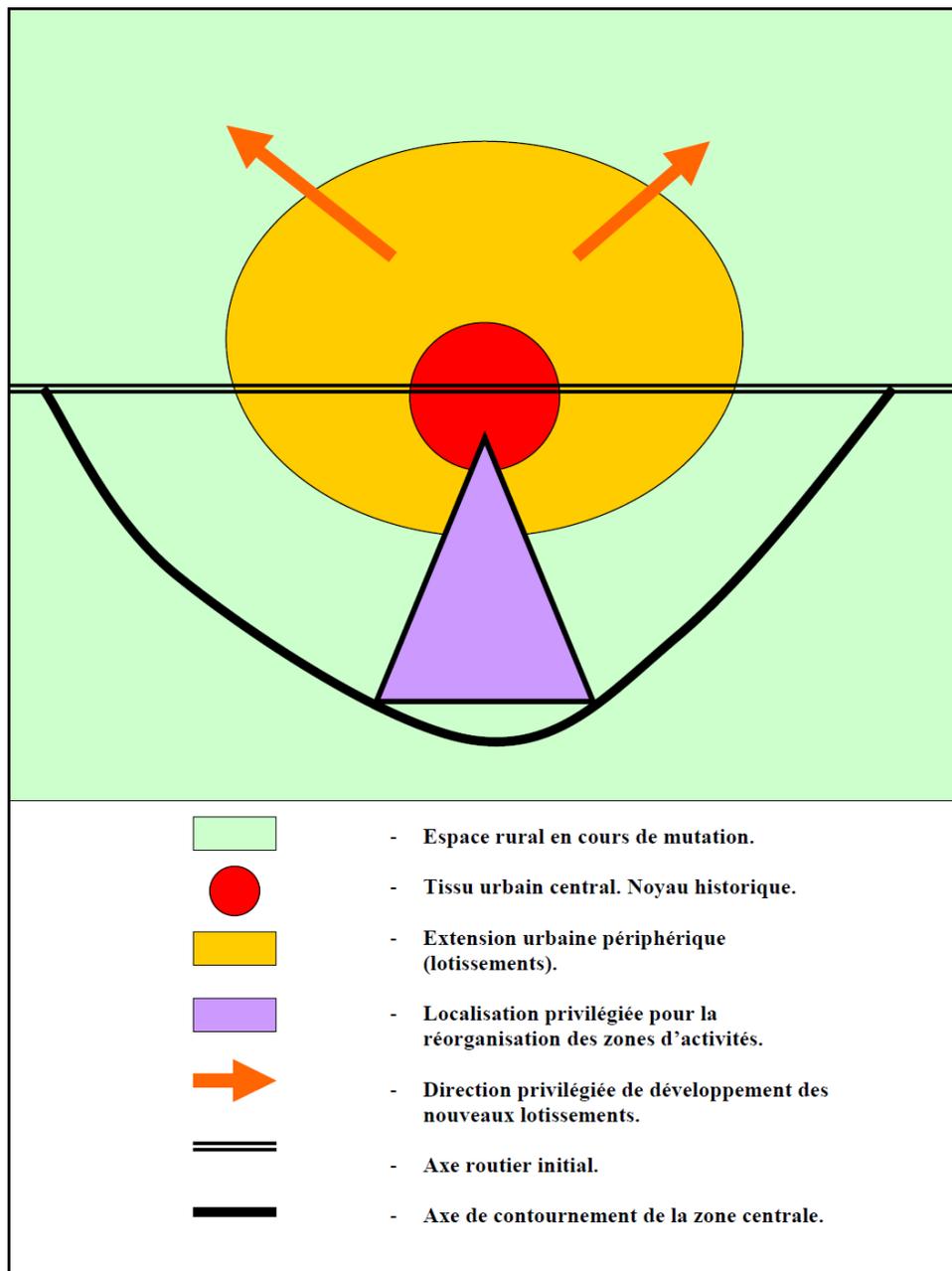
**Image n°34 (« IMAGE B » de Beja)** : Projection des contours Dxf simplifiés de l'urbain en 2002, dans l'image panchromatique filtrée mas du 31 août 1992 et modifications intervenues entre 1992 et 2002.

### - 11) Caractérisation des espaces en transformation au Kef et à Jendouba (Tunisie)

Les images des deux villes tunisiennes, Le Kef et Jendouba, ont bien été acquises dans le cadre de ce programme de recherche, à la suite de l'étude sur le terrain tunisien en mai 2007, mais elles n'ont à l'heure actuelle pu faire l'objet de traitements similaires à ceux développés pour les cinq villes qui viennent d'être présentées. Il serait pourtant nécessaire de valider par ces deux autres études de cas, les éléments qui viennent d'être mis en avant avec l'exemple de Beja. La stabilité prévaut-elle également dans leur cas, à la différence de ce qui a pu être observé avec les villes algériennes ?

## - 12) Eléments de synthèse sur les dynamiques urbaines observées

Afin de dégager les principales tendances résultant de l'étude diachronique, sont proposés deux documents de synthèse : le premier (**Schéma n°1**), ci-dessous traduit graphiquement les dynamiques observées à Borj Bu Arrerij, à El Eulma et dans une moindre mesure à Sétif : extension périphérique sous la forme de lotissements, densification des zones d'activités et accroissement des espaces qui leur sont dédiés. Les axes de communication jouant un rôle structurant figurent également dans ce schéma. Le second document de synthèse (**Tableau n°2**) présente une grille de lecture des dynamiques spatiales observées. Les villes tunisiennes du Kef et de Jendouba pourront ultérieurement compléter ce tableau.



**Schéma n°1** : Modèle de développement des villes étudiées (correspondant aux cas de Borj Bu Arrerij, de El Eulma et dans une moindre mesure de Sétif).

<b><u>VILLE ETUDIEE</u></b>	<b>Transformation de l'espace urbanisé entre 1992 et 2002 :</b>	<b>Nature de la consommation d'espace :</b>	<b>Dynamiques concernant les espaces résidentiels :</b>	<b>Dynamiques concernant les zones d'activités :</b>
<b>- 1) SETIF (Algérie)</b>	<b>Fortes transformations, selon plusieurs modalités.</b>	<b>Extensions périphériques et densification du tissu urbain existant.</b>	<b>Des lotissements périphériques et des zones d'habitat collectif. Habitat sous- intégré à l'Ouest de la ville.</b>	<b>Remplissage progressif de la zone d'activités existante.</b>
<b>- 2) AIN OULMENE (Algérie)</b>	<b>Transformations faibles.</b>	<b>Peu de modifications.</b>	<b>Développement de quelques lotissements.</b>	<b>Pas de modifications visibles.</b>
<b>3) BORJ BU ARRERIJ (Algérie)</b>	<b>Très fortes transformations, selon plusieurs modalités.</b>	<b>Fortes extensions urbaines périphériques limitées par les axes routiers de contournement.</b>	<b>De nombreux lotissements périphériques. De nouveaux projets identifiables.</b>	<b>Extension et remplissage de la zone d'activités.</b>
<b>- 4) EL EULMA (Algérie)</b>	<b>Très forte transformations, selon plusieurs modalités.</b>	<b>Fortes extensions périphériques, limitées par l'axe routier de contournement dans la partie Sud.</b>	<b>Des lotissements périphériques. Quelques nouveaux projets identifiables.</b>	<b>Extension et remplissage de la zone d'activités.</b>
<b>5) BEJA (Tunisie)</b>	<b>Transformations modérées.</b>	<b>Quelques extensions périphériques.</b>	<b>Un lotissement périphérique et une petite zone d'habitat collectif.</b>	<b>Faible croissance de la zone d'activités.</b>
<b>6) EL KEF (Tunisie)</b>	<b>N'a pu être étudiée à partir des images Spot.</b>			
<b>7) JENDOUBA (Tunisie)</b>	<b>N'a pu être étudiée à partir des images Spot.</b>			

**Tableau n°2** : Eléments de synthèse sur les dynamiques urbaines (en vert : faibles transformations ; en orange : transformations importantes ; en rouge : très fortes transformations).

- **13) Perspectives de recherche urbaine à partir de l'imagerie satellitaire**

Parmi les arguments ayant plaidé pour utiliser les images satellitaires figuraient (voir **Partie 1) Intérêt du recours à l'imagerie satellitaire**) : - 1) L'indépendance par rapport à l'accès à l'information – 2) La profondeur temporelle dorénavant permise – 3) La précision des informations – 4) L'intégration des résultats des traitements dans un SIG - 5) L'homogénéité des informations – 6) Le coût modique d'acquisition des images. Les résultats obtenus intégrant les limites précédemment formulées (voir **Partie 6) Limites de la méthodologie**) permettent de reprendre chacun de ces arguments :

- 1) Les images Spot permettent de compléter les sources cartographiques habituelles. L'accès aux cartes topographiques est parfois soumis à des autorisations administratives locales. L'imagerie satellitaire permet de s'affranchir de ces contraintes avec une finesse d'information similaire, en particulier lorsque sont exploitées des images Spot 5 à très haute résolution.
- 2) L'étude étant de type diachronique et compte tenu des disponibilités des images Spot, il avait été décidé d'opter pour un pas de temps de dix : images récentes de 2002 (afin d'avoir accès aux images Spot 5), et images plus anciennes de 1992. Il aurait été possible de remonter jusqu'à 1986 avec des images Spot 1 de mêmes configurations techniques que les images obtenues avec les satellites ayant précédé Spot 5. Les analyses développées pour les quatre villes algériennes et pour la ville tunisienne ont montré que des transformations spatiales très importantes avaient affecté plusieurs de ces villes.
- 3) De fait, les informations obtenues sont de grande précision. Les vignettes présentant en parallèle le mode d'occupation du sol en 1992 et en 2002 (voir les **Images n°11, n°12, n°13, n°14 et n°15** pour Sétif, **n° 20** pour Borj Bu Arrerij, **n°29** pour El Eulma et **n°33** pour Beja) permettent de le confirmer.
- 4) Cet aspect n'a pas été développé dans le cadre de cette étude. L'intégration sous MapInfo ou sous ArcGis des fonds raster ou des fichiers vectorisés Dxf ne pose aucun problème technique majeur. Il s'agit d'une dimension qui aurait pu être mise en oeuvre, en particulier pour intégrer les limites des différentes communes. Toutefois, les analyses étant centrées sur la ville principale par rapport à elle-même, cet aspect n'est pas apparu comme indispensable.
- 5) L'homogénéité des informations concerne à la fois la portion de la surface terrestre faisant l'objet de l'analyse et la permanence dans la qualité des informations exploitées. Sur le premier point la réponse est venue des images qui ont été constituées pour chacune des cinq villes, pour le second, les images panchromatiques de 1992 et multispectrales de 2002 sont de même résolution spatiale, ce qui n'était pas le cas des panchromatiques de 2002.
- 6) Compte tenu de l'obtention de l'accord avec le CNES, dans le cadre des contrats ISIS, ces images ont pu être acquises à des prix relativement faibles.

Si l'utilisation de l'imagerie satellitaire ne peut apporter des réponses à toutes les problématiques urbaines, elle n'en présente pas moins un outil d'une remarquable qualité. D'abord par la précision des informations exploitables qui rend accessibles les dynamiques des espaces intra-urbains, ensuite par leur répétitivité qui permet d'en assurer un suivi régulier (par exemple tous les cinq ans). Néanmoins, il est nécessaire de conserver à l'esprit que les informations provenant de l'imagerie satellitaire nécessitent d'être croisées avec celles

résultant d'une approche plus qualitative, seule à même de décrypter les jeux d'acteurs débouchant sur telle ou telle forme d'organisation de l'espace.

### - Bibliographie indicative

- **AÏT BELAÏD M.** : *Cartographie de l'évolution du bâti et impact de l'urbanisation sur les terres agricoles*, 63 p., Rapport final élaboré par le C.R.T.S. pour le compte de l'A.G.R. (Administration du génie rural), Rabat, Maroc. 1998.
- **ANYS H., AÏT BELAÏD M., BIJABER N. et WAKRIM M.** : « Cartographie de l'évolution du tissu urbain et évaluation de l'impact de l'urbanisation sur les terres agricoles », p. 3-11, *Géobservateur*, n°10, Rabat, Maroc. 1999.
- **BALLUT A.** : « Un SIG au service d'une grande région métropolitaine : l'exemple de l'Île-de-France », pp. 91-109, in *Télédétection et systèmes d'information urbains*, 379 p., Coll. Anthropos-Ville, Economica, 1995.
- **BLASER T.-J.** : *Apport de la télédétection à la conceptualisation et à la mise à jour des plans d'aménagement*. Thèse de doctorat de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. Lausanne. 1992.
- **BAUDOIN Y., CAVAYAS F., MAROIS C.** : « Vers une nouvelle méthode d'inventaire et de mise à jour de l'occupation / utilisation du sol en milieu urbain », pp. 28-42, in *Canadian Journal of Remote Sensing*, n°1. 1995.
- **BONN F. et ROCHON G.** : *Précis de télédétection. Vol. 1 : Principes et méthodes. Vol. 2 : Applications thématiques*, 485 p., Presses de l'Université du Québec / AUPELF. 1992.
- **BOURCIER A., VAGUET O. et VAGUET A.** : « Morphologie et dynamiques urbaines à Coimbatore, Inde du Sud », pp. 23-26, *Photo-interprétation*, n°1, 1996.
- **CHATELAIN A.** : « Analyse des morphologies urbaines et de leur évolution à partir des données de télédétection », pp. 83-105, in *Informatique et sciences humaines*, n°44. 1978.
- **COULOIGNER I., RANCHIN T., VALTONEN V.-P., et WALD L.** : « Apport de SPOT 5 à la cartographie urbaine », pp. 33-38, in *Bulletin de la Société française de photogrammétrie de télédétection*, n°145. 1997.
- **COQUEREZ J.-P., et PHILIPP S.** : *Analyse d'images : filtrage et segmentation*, 457 p., Masson, Paris. 1995.
- **DESPONDS D.** : *Stratégies résidentielles, différenciation spatiale et recomposition sociale*, 820 p., thèse de géographie, université de Cergy-Pontoise, 2003.
- **DESPRATS J.-F. et DUTARTRE P.** : « Estimation de la population des quartiers périphériques de Ouagadougou par télédétection », pp. 285-293, *Télédétection et systèmes d'information urbains*. 379 p., Coll. Villes, Anthropos, Economica, 1995.
- **DUREAU F. et WEBER C.** (sous la direction de) : *Télédétection et systèmes d'information urbains*, 379 p., Coll. Villes, Anthropos, Economica, 1995.
- **DUREAU F.** : « Introduction à la télédétection spatiale », pp. 193-202, in *Télédétection et systèmes d'information urbains*. 379 p., Coll. Villes, Anthropos, Economica, 1995.
- **DONNAY J.-P., COLLET C. et WEBER C.** : « Démarches de reconnaissance des formes urbaines et transfert méthodologique Nord-Sud », pp. 41-48, in *Actes des VIII èmes journées scientifiques du Réseau Télédétection de l'IAUF*, Lausanne, 22-25 Novembre 1999. AUPELF Montréal. 1999.
- **DONNAY J.-P., COLLET C. et WEBER C.** : « La télédétection urbaine à l'aube de la très haute résolution spatiale », pp. 3-14, in *Actes des VIII èmes journées scientifiques du Réseau Télédétection de l'IA.U.F.*, Lausanne, 22-25 Novembre 1999. AUPELF, Montréal. 1999.
- **EDITIONS DE LA BOYERE** : *Guide d'utilisation de TeraVue*, 224 p. Valbonne. 1994.
- **HERHARD J.-M.** : « Les quartiers de la périphérie Sud-Est de Mexico d'après une image SPOT », pp. 55-61, in *Photo-interprétation*, n°1. 1995.
- **HERHARD J.-M.** : « Typologie des quartiers urbains établie à partir d'une méthode de description systématique des paysages », pp. 87-88, in *L'espace géographique*, n°1, Tome 25. 1996.
- **FASHI A., ASSAF M. et AZERZAQ M.** : « Cartographie des densités du bâti à partir des images satellitaires : application à la ville de Casablanca », pp. 11-18, in *Bulletin de la Société française de photogrammétrie de télédétection*, n°144.1996.
- **GIRARD M.-C. et GIRARD C.-M.** : *Traitement des données de télédétection*, 529 p. Dunod, Paris. 1999.
- **GUYOT G., GU X.-F., WEISS M. et BARET F.** : « Du signal satellitaire à la réflectance au sol : problèmes directs et inverses », pp. 119-144, in *Photo-interprétation*, n°2. 1996.
- **LORTIC B.** : « Faut-il poser la question : que faire par télédétection ? », pp. 205-217, in *Télédétection et systèmes d'information urbains*. 379 p., Coll. Villes, Anthropos, Economica, 1995.

- **MATTI-GALLICE C., et COLLET C.** : « Contribution of Remote Sensing to the definition of and indicator for the analysis of periurban dynamics », pp. 182-185, in *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> GRSS/ISPRS Joint Workshop on Data Fusion and Remote Sensing over Urban Areas*, Technical University of Berlin. Berlin. 22-23 May. 2003.
- **MICHEL A. et LORTIC B.** : « Typologies urbaines et télédétection satellitaire. La notion de zone en milieu urbain », in *L'Espace géographique n°2*. 1992.
- **MINVIELLE E. et SOUIAH S.-A.** : *L'analyse statistique et spatiale. Statistiques, cartographie, télédétection, SIG*, 284 p., Editions du Temps, Nantes. 2003.
- **ROBIN M.** : *La télédétection*, 318 p., Coll. Université, Nathan, Paris, 1995.
- **SABINE H.** : « Le couplage d'une image satellitaire à des photographies aériennes obliques pour l'étude de la croissance démographique d'une ville arabe à partir du lien entre le bâti et la population : application au cas de Marrakech », pp. 71-94, in *Télédétection*, Vol. 1. 1999.
- **SOUIAH S.-A.** (sous la direction de) : *Villes intermédiaires dans le monde arabe*, 221 p. GREMAMO, L'Harmattan, Paris. 2007
- **WEBER C. et PETROPOULOU C.** : « Etude diachronique d'une région périurbaine à partir des données satellitaires : le cas de la plaine d'Eleusis », pp. 255-268, in *Télédétection et systèmes d'information urbains*. 379 p., Coll. Villes, Anthropos, Economica, 1995.
- **WEBER C. et HIRSCH J.** : « Processus de croissance et limites urbaines », pp. 21-29, in *Photo-interprétation*, n°1-2. 1997.